técnica

329

associação dos estudantes do instituto superior técnico

junho 1963

revista de engenharia

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

electro-arco

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

materiais novobra
EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

PAVIMENTOS

COBERTURAS

VIGAS DE GRANDE VÃO

ASNAS

PERFIS

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS NOVOBRA, LDA.
AV. ESTADOS UNIDOS DA AMERICA, LOTE 3, 5.º D. TELEF. 774832/766446 LISBOA-5

TÉCNICA

Ano XXXVIII - N.º 329 Junho de 1963

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-1. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

CORPO REDACTORIAL

J. M. VIEGAS GONÇALVES
A. ROMÃO DIAS
J. F. GOMES DE PINA
A. M. L. ESTEVES BRINCA

NUMERO AVULSO 15$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar Português e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

PUBLICAÇÃO PERIÓDICA MENSAL

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Vista parcial da mais recente das quatro unidades de fabrico de ácido sulfúrico pelo processo de contacto, instaladas no Barreiro pela Companhia União Fabril.

Págs.

Curso de Engenharia Aeronautica
Por A. Varela Cid 617

Previsão Estatística de Avarias de Máquinas
Por Almeida e Castro 627

Aplicação do método das analogias eléctricas ao estudo de alguns problemas relativos ao campo magnético das máquinas eléctricas
Por Carlos de Medeiros Portela 637

Convenções de sinal em electroquímica — Potenciais de eléctrodo
Por Carlos A. Ramalho Carlos 665

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional** 668

Estudo da junção P - N — Regime electrostático
Por José Artur da Costa Cabral 669

Reflexões sobre a fissuração e deformação no betão armado
Por Luis Arouca e António Mexia Heitor 689

Biblioteca 707

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

Agência Comercial, Lda. IV
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXXVIII
Agro-Mecânica XXXII
Araldite XXX
Asea Eléctrica Ld.ª XX

C

CIDEX IV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos IX
Companhia Portuguesa de Trefilaria XXVIII
Companhia União Fabril . . . XIV e XV
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XXXVII

E

Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XXVI
Empresa de Cimentos de Leiria . . XL
Empresa Electro Cerâmica XLI
Empresa de Produtos Asfálticos. . . X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações XXVIII
Empresa de fundações A. Cavaco . XXXII

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XVI
Filtros Filfro XX
Fundações Franki, Lda. I

G

General Electric . . . . . XXIV e XXV
Guedes & Almeida, Lda. XXXIV

H

Harker Sumner & C.ª, Ltd. XXXV

I

Impermeábilis XXVIII
Isolux, Lda. XLII

J

Pág.

Jayme da Costa, Lda XIX

M

Modern Office XXXII
Monteiro Gomes, Lda. XLIII
Monterroso & C.ª, Lda. XLII

N

Novobra, Lda. . . . . 2.ª da capa

O

Orlando Fernandes XVI

P

Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

Q

Quimicor, S.A.R.L. . . . . XVII e XVIII
Química Hoechst XXXV

S

S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XIII
Siemens XXXI
Soabal, Ltd. XXIII
S. Com. de Isolamentos de Cortiça XXXIX
SMEIA XXVII
Société Louis de Roll V
Sociedade Comercial Luso-Italiana XLIV
Soc. Const. Amadeu Gaudêncio . . XXXIX
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Soc. Michaelis de Vasconcelos . . . XII
Sociedade Portuguesa Cavan VIII
Sondagens e Fundações, A Cavaco . XXXII
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXII
Standard Eléctrica VII
S. T. E. T. . . . . XXI e XXII

V

Vasco Pessoa, Lda. XXX

W

Wild Portugal, Lda. XXIX
W. Schmidt XLI

Prédio CARDOSO & REIS — Lourenço Marques (Portugal)

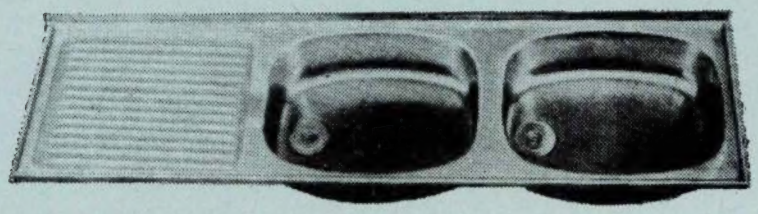
ASSENTE SOBRE 177 ESTACAS FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

Rua Braamcamp, 13, 3.º — Lisboa — Tel. PPC 73 41 12 — End. Tel. FRANKI

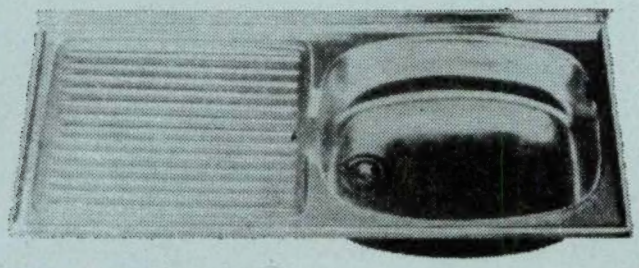
Av. da República — PRÉDIO SANTOS GIL, 6.º - 10 — Caixa Postal: 1397 — LOURENÇO MARQUES — Telef. 91 167

LAVA-LOUÇAS EM AÇO INOXIDAVEL



Modernize os lares de Portugal, usando nas suas cozinhas Lava-Louças em AÇO INOXIDÁVEL. Concepção e execução da

FABRICA PORTUGAL



elegantes e higiénicos - duração ilimitada - revestidos de isolante especial - fornecidos com sifão de segurança - não partem a louça

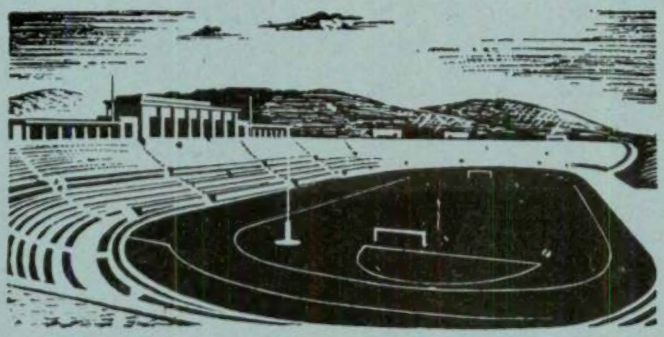
- 8 MODELOS STANDARD - OUTROS MODELOS FORA DE SÉRIE
- MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES
- IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE E NOS SEUS SALÕES DE EXPOSIÇÃO E VENDA

PRAÇA DOS RESTAURADORES - RUA FEBO MONIZ

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS AO SERVIÇO DA ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO DE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO, CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

RUA JARDIM DO REGEDOR, 24, 2.°
LISBOA
TELEF.: 32 43 14 — 32 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:

— Petróleos
— Indústrias químicas
— Construções navais
— Centrais eléctricas
— Alimentação de caldeiras
— Etc., etc.

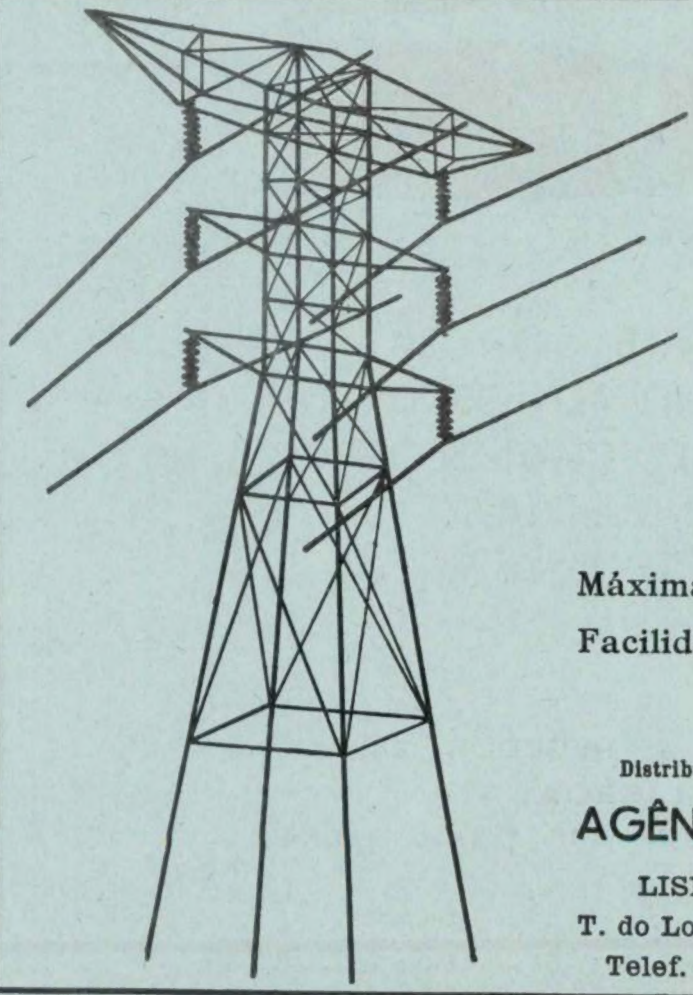
Sob as condições de funcionamento seguintes:

— Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
— Pressões: altas e baixas
— Temperaturas: −180° C + 500° C
— Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.º/Telef. 73 53 07/LISBOA 1



METALIZAÇÃO A FRIO

NEODON

NEODON + ZINCO =
NEODONZINKGRUND

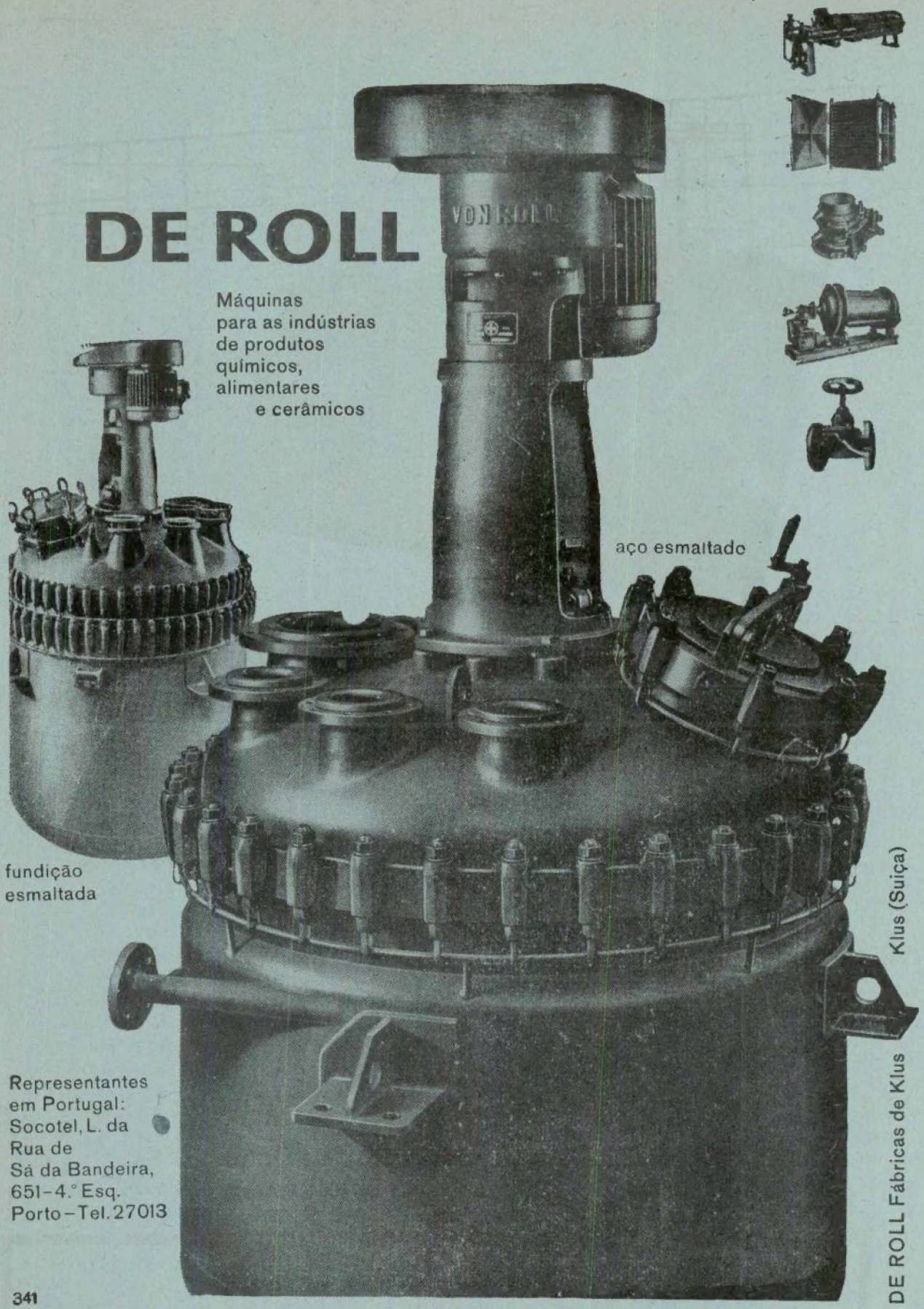
Máxima protecção
Facilidade de aplicação

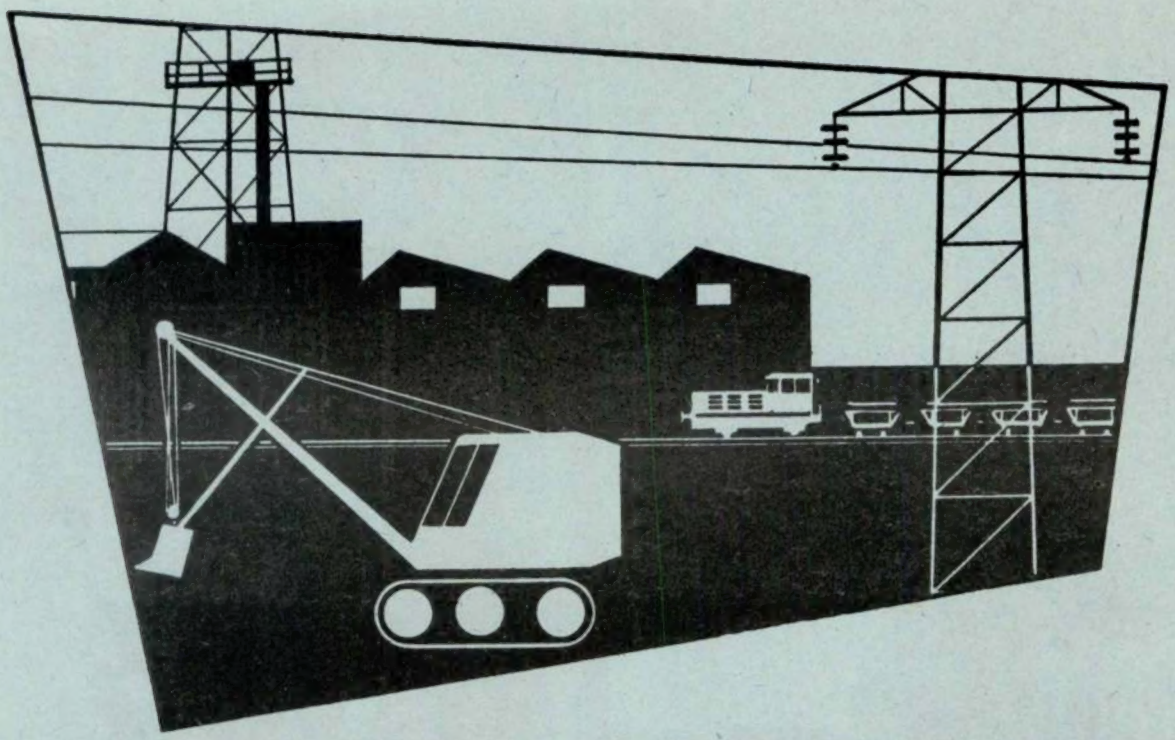
Distribuidores exclusivos:

AGÊNCIA COMERCIAL, L.DA

LISBOA
T. do Loureiro, 3
Telef. 4 90 54

ÉVORA
R. da República, 93
Telef. 2 33 63


DE ROLL
Máquinas
para as indústrias
de produtos
químicos,
alimentares
e cerâmicos
aço esmaltado
fundição
esmaltada
Klus (Suiça)
DE ROLL Fábricas de Klus
Representantes
em Portugal:
Socotel, L. da
Rua de
Sá da Bandeira,
651-4.° Esq.
Porto-Tel. 27013



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES C. SANTOS LDA. — DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CÁLCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 6 72 22

SEDE
Largo de S. Carlos, 4 2.º — LISBOA
Telefones 32 53 43 - 3 55 56 - 36 89 89

Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS

*

TECTOS

*

PAREDES

*

CÂMARAS FRIGORÍFICAS

*

ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

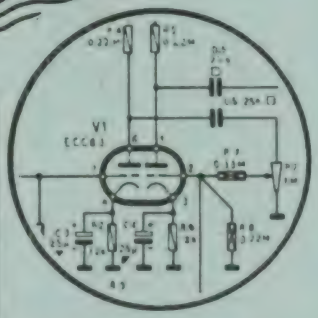
Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

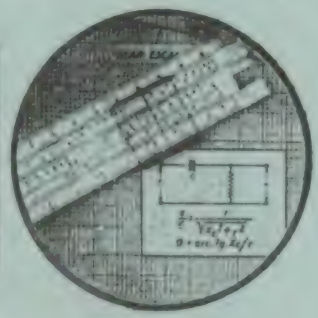
TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

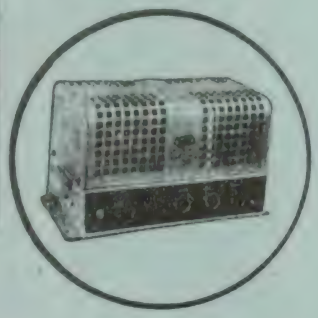
FÁBRICA EM SÁCAVÉM

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM



CONCEBIDO BEM CALCULADO CONSTRUIDO





LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

TELECTRA

EMPRESA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S. A. R. L.

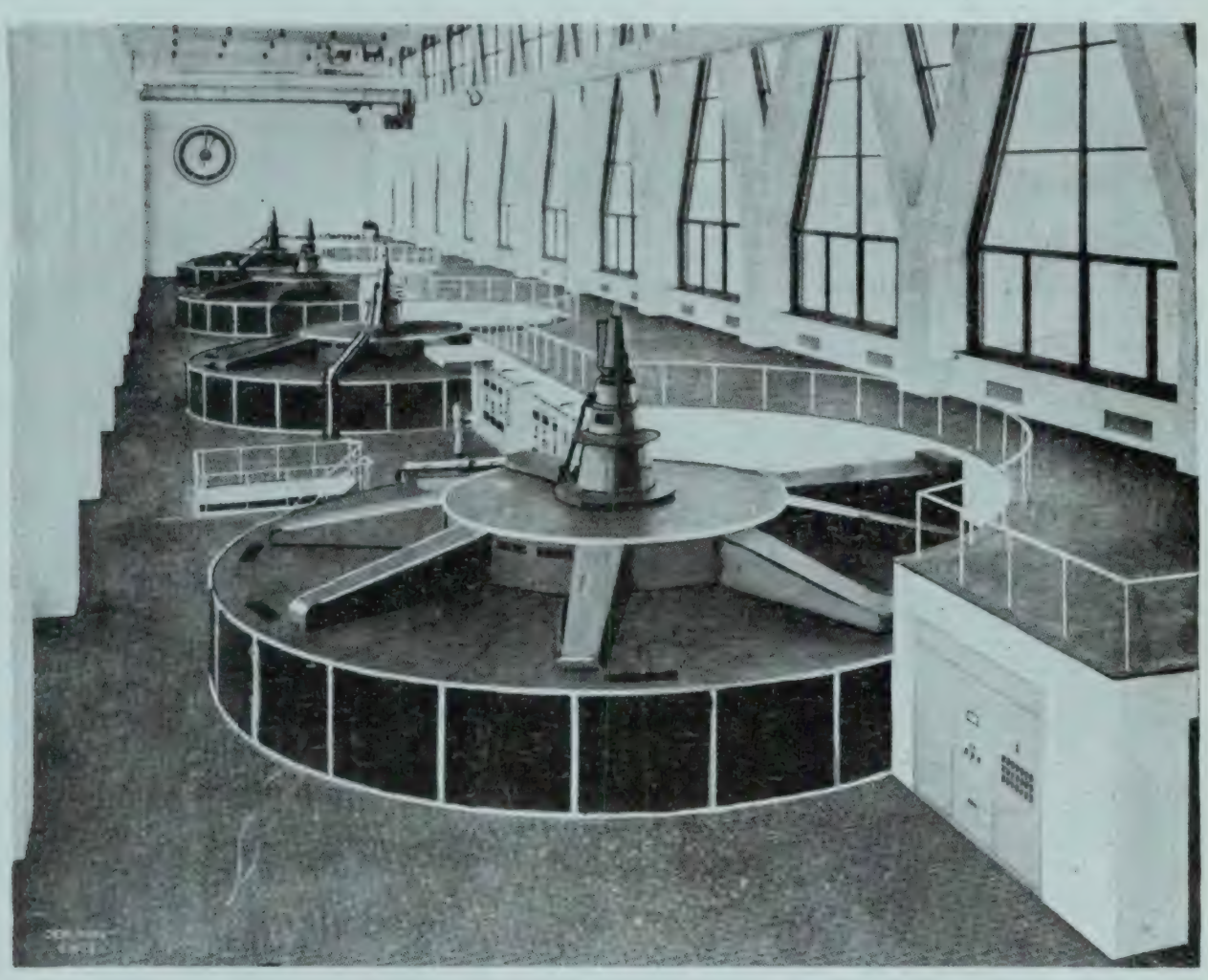
Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c
LISBOA — Tel. 68 60 72

Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

Ateliers de Construction Oerlikon—Zurich 50

Alternadores accionados por turbinas hidráulicas, para todas as potências e condições de exploração, pequenas e grandes velocidades

Central hidroeléctrica de Birsfelden (Suíça), sobre o Reno. Alternadores de 26.000 kVA, cada um, 6.600 V, 68 rot/min, 50 Hz. Diâmetro: 14 metros



Representante para Portugal e Ultramar: **Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda.**

PORTO — P. da Liberdade, 114 LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

TÉCNICA

CORPO REDACTORIAL: J. M. VIEGAS GONÇALVES, A. ROMÃO DIAS, J. F. GOMES DE PINA, A. M. L. ESTEVES BRINCA

Ano XXXVIII — N.º 329 Junho de 1963

C. D. U. 378.144 : 629.13

Cursos de Engenharia Aeronáutica

POR A. VARELA CID
Doutor-Engenheiro

RAZÕES DE FACTO

Em face dos resultados afirmativos colhidos e reconhecidos durante a Sessão Plenária do Congresso do Ensino de Engenharia, realizado em Novembro de 1962, apresentamos o desenvolvimento do curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica e Engenharia Electrotécnica Aeronáutica, contidos em publicações separadas, bem como outra relativa às Futuras Instalações do Centro para Estudos Aeronáuticos e seus Laboratórios a construir no Instituto Superior Técnico (1). Este trabalho afirma-se ao abrigo da letra do Decreto n.º 42 151, Artigo 12, alínea d) e do Decreto n.º 40 378, Artigo 24 e seu parágrafo 1.

Pode dizer-se que o curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica nasceu, entre nós, e começou os seus passos em 1939, por força do Decreto-Lei n.º 20 532, artigo 56, que constitui o Regulamento da Junta de Educação Nacional, a que antecedeu o Instituto de Alta Cultura, ao qual é lícito recorrer em determinados casos, pelo disposto no artigo 58 do Regulamento da Junta Nacional da Educação e pela competência do Instituto de Alta Cultura, segundo o n.º 5 do artigo 22 do Regimento da Junta Nacional da Educação.

Além disso, o Instituto de Alta Cultura que por várias vezes tem sido comparado para efeitos oficiais a uma Direcção-Geral, promove a proveitosa aplicação dos dinheiros dispendidos pelo Estado e tem-se manifestado junto da Direcção do I. S. T., por várias vezes e cita-se como exemplo, o oficio n.º 2/2122, 47/981, datado de 22 de Março de 1947, no seu zelo pelo ensino superior de Aeronáutica, no I. S. T.. Compõe-se a opção de Aeronáutica no I. S. T., dentro da Engenharia Mecânica, das seguintes matérias:

Aerodinâmica, Compressível e Incompressível;

Aeronáutica, I Parte, com Dinâmica do voo, Estabilidade Estática e Dinâmica, Solicitações dos Aviões em Voo, em Terra e na Pista Aquática; problemas de Aeroelasticidade.

Aeronáutica, II Parte, com Propulsão por Hélice e por Jacto, Turbina de Gás Aeronáutica, Problemas sobre Helicópteros, Projecto de Avião, todas as três cadeiras com Prática, Laboratório e Sala de Estudos e ainda os respectivos tirocínios.

No tempo do Professor Droz, os alunos desta especialidade, projectaram motores de jacto, motores de turbinas de gás, e motores de êmbolo destinados à aeronáutica. Após a sua saída a Secção de Aeronáutica, desenvolveu, também este assunto de projecto dentro do possível. São sin-

(1) Quem estiver interessado, poderá pedir as referidas publicações à Revista «Técnica», onde se apresentam pormenorizadamente os programas dos referidos cursos e a orgânica dos laboratórios.

tomas deste facto a construção no I. S. T. de uma turbina de jacto de pequena potência e o projecto de um motor alternativo para a aviação ligeira, como se tornou público e notário. É já de longa data quando o Instituto de Alta Cultura, determinou o ensino superior de engenharia aeronáutica no País, determinação essa, exarada no seu relatório oficial de 1933/34, a página 49.

Quando o Doutor Leite Pinto, antigo Ministro da Educação Nacional e actualmente ilustre Reitor da Universidade Técnica, visitou oficialmente em 1936 a Universidade de Darmestadt houve conversações e elaborou-se um relatório para o Governo Português para a criação das cadeiras de ensino superior constituídas por Aerodinâmica, Aeronáutica, I Parte e Aeronáutica II parte.

Primeiramente por iniciativa do Instituto de Alta Cultura, com expontânea concordância do Ministério do Exército, do Ministério da Marinha e do Conselho Nacional do Ar, com uma declaração oficial conjunta, e mais tarde oficializado por um Decreto-Lei do Ministério da Educação Nacional. Desde essa data até hoje passaram pela secção de aeronáutica do Instituto Superior Técnico cerca de 1000 alunos, o que prova o expontâneo desejo dos portugueses pelo culto das ciências e técnicas aeronáuticas. Tem o ilustre Director das Oficinas Gerais de Material Aeronáutico, Brigadeiro Fernando de Oliveira, dispensado a sua prestimosa atenção a este labor oficial e agradecemos sinceramento, as suas boas palavras de incitamento, colaboração e auxílio, na douta comunicação n.° 40, dirigida ao referido Congresso.

É gostoso registar-se além das Oficinas Gerais de Material Aeronáutico, também a Força Aérea Portuguesa, a Direcção-Geral de Aeronáutica Civil, os Transportes Aéreos Portugueses, a Divisão de Transportes Aéreos de Angola, e a Divisão de Exploração dos Transportes Aéreos de Moçambique, pelo assinalado interesse da formatura de cursos superiores de Engenharia Aeronáutica em Portugal, ao nível das grandes Nações.

No decorrer dos 24 anos de frutuosa actividade de aeronáutica, neste Instituto, a Força Aérea e outros organismos enviaram espaçadamente observadores que se informaram de viso, dos cursos de Aeronáutica do I S. T. e contribuiram para a redacção das disposições oficiais, Decretos-Leis e Portarias, que destinaram os Engenheiros Mecânicos com opção de Aeronáutica, para essas instituições acima referidas.

De facto, a formatura no estrangeiro de engenheiros portugueses aeronáuticos, além de ser muito dispendiosa, no valor de cerca de Esc. 1 000 000$00 por cada um, não se justifica, porque as Universidades Portuguesas, no domínio intelectual, poderão porventura ser mais eficientes ainda e zelar melhor pelos conhecimentos dos seus candidatos. Primeiramente começamos a referir algumas considerações: A aeronáutica militar e civil do continente e do ultramar devem ultrapassar anualmente, em encargos, na sua totalidade, acima de um milhão de contos.

Um volume financeiro desta natureza impõe o preenchimento total dos quadros dos técnicos adequados, em abundância, nomeadamente os engenheiros, bem como os precisos centros industriais aeronáuticos para a manutenção e para a construção e todo o apetrechamento laboratorial que lhe diz respeito.

É preciso encarar a aeronáutica duma nação como um fortíssimo factor de cultura, industrial, económico, político e militar e como tal agir em seu auxílio.

Lembremos um pequeno exemplo:

Partindo da hipótese de que em 1939 um país dispusesse de uma fábrica de construção aeronáutica e iniciasse o seu labor com 400 operários e pessoal dirigente e supondo que aumentasse um número de 70 pessoas por ano, atingindo em 1963 um total de 2600 operários, poderia ter realizado, nestes 23 anos, um valor económico de cerca de treze milhões de contos, sem contar com os adicionais das indústrias subsidiárias. Este valor refere-se à equivalência actual da produção homem-hora relacionado com o preço unidade-peso de avião. Se os Estaleiros Navais constroem barcos e proporcionam ao País o domínio dos mares, igualmente Portugal não faria senão bem em organizar substancialmente várias fábricas de construção aeronáutica na zona Norte e Sul do País e assegurar assim com vigor próprio o domínio do espaço aéreo português.

Não haverá mais do que equacionar o problema e dele tirar as vantagens acima referidas e seus atributos beneficiários.

Passemos a analisar a composição destes cursos.

ENGENHEIRO MECÂNICO AERONÁUTICO

A preparação do Engenheiro Mecânico Aeronáutico, de uma maneira geral, faz parte de uma Faculdade Universitária directamente ligada ao Ministério da Educação Nacional.

Por exemplo, no País vizinho, em Espanha, o Engenheiro Aeronáutico professa o seu curso na Cidade Universitária de Madrid, dependente do Ministério da Educação Nacional.

Os jovens engenheiros que desejem ingressar na Força Aérea da Espanha, depois de terminado o seu curso, constituído pelo elenco das cadeiras universitárias e os respectivos tirocínios concorrem à Força Aérea e ingressam com o posto de capitão, após determinada preparação militar.

Em regra o Decanato da especialidade de máquinas agrupa em conjunto os seguintes cursos distintos:

Engenheiro de Mecânica Geral
Engenheiro de Máquinas Pesadas
Engenheiro de Máquinas Ligeiras
Engenheiro Construtor Naval, (casco e propulsão)
Engenheiro de Máquinas e Equipamentos Navais
Engenheiro Mecânico Aeronáutico

Em muitas Universidades, qualquer destes cursos são constituídos por dois anos dedicados às cadeiras gerais e outros dois anos às da especialidade, com um liceu mais longo do que em Portugal.

As cadeiras gerais são comuns aos seis cursos, excepto órgãos de aviões e de motores de aviação para o caso da Aeronáutica, elementos de máquinas de construção naval para a especialidade naval e electrotécnica de aplicação às máquinas para os outros restantes cursos.

Os primeiros dois anos têm uma média de 34 horas por semana incluindo aulas teóricas e práticas, bem como de laboratórios e seminários (sessões entre alunos e professores, nas quais se discutem problemas da especialidade e versados nas aulas).

Os dois anos da especialidade têm 24 horas por semana mas exigem além deste tempo um trabalho individual dedicado a estudos ou projectos pessoais que constituem o chamado trabalho final de curso.

É evidente que esta circunstância obriga o aluno e futuro engenheiro a adicionar às horas de estudo muitas outras horas suplementares realizadas, ou particularmente no edifício da Escola, ou mesmo na sua residência.

Os dois primeiros anos podem apresentar as seguintes matérias:

— Matemáticas Superiores
— Físicas
— Químicas
— Mecânicas; com Estática Gráfica, Vibrações, etc.
— Resistência de Materiais
— Órgãos de máquinas
— Termodinâmica
— Órgãos de Aviões e de Motores de Aviação
(Esta última matéria altera-se por substituição conveniente nas outras especialidades).
— Economia Política e Industrial

O conjunto das matérias da especialidade, também em dois anos, apresenta o seguinte:

— Aerodinâmica Teórica, (bastante desenvolvida)
— Construção de Motores de Aviação
— Estruturas na Construção Aeronáutica

— Aerodinâmica Aplicada, (várias vezes designada apenas por Aeronáutica e que aborda a Dinâmica do Avião, Estabilidade, Esforços em Voo, Aeroelasticidade, etc.).

— Propulsão, (por Hélice ou Turbinas de Gás aplicadas só a Jacto ou a Hélice).

— Organização Fabril e Produção Industrial.

O candidato que executou vários exercícios na aula prática e no laboratório e projectos de iniciação é orientado para um trabalho final.

Este trabalho pode constituir um projecto de avião, de motor de avião, ou de um grupo de propulsão. Também pode ser mixto, em parte dedicado ao projecto de avião e outra ao projecto de motor ou do conjunto propulsor ou ainda um trabalho de Laboratório.

O candidato pode dispor de três meses para elaborar o seu trabalho final no qual confirme as suas aptidões como engenheiro da respectiva especialidade.

A intenção dos dirigentes destes cursos universitários é despertar no candidato a *instrução básica dentro da especialidade durante o curso todo.* Mais tarde, no seu emprego ou na sua vida profissional orientará a sua actividade para uma maior especialização conforme as funções a que se destinar, dentro deste ramo de engenharia.

Segundo o pensamento do Decreto-Lei n.º 42.150 que criou a Academia Militar poderia depreender-se que perfilhava a intenção de um curso de engenheiro Aeronáutico com a duração de sete anos.

Esta circunstância seria porventura influenciada com as cadeiras militares e com outros anexos que obrigaria a um tempo tão excessivo que, segundo os nossos conhecimentos, não teria similar.

Seguindo o pensamento das Universidades estrangeiras, seríamos necessàriamente obrigados a comprimir os tempos de formação reduzindo os sete anos a seis.

O curso de Engenheiro Mecânico Aeronáutico para defesa da própria especialidade no País deve permitir ao candidato exercer na vida profissional as funções de Engenharia Mecânica. Quando tiver oportunidade de obter emprego em centros fabris de aviação, a sua especialidade terá plena aplicação. Quando esta circunstância não se verificar poderá exercer emprego na indústria como Engenheiro Mecânico.

No País as vagas para Engenheiro Aeronáutico tendem a aumentar e já empregam bastantes Engenheiros Mecânicos com opção de aeronáutica do I. S. T., em funções civis e militares.

Torna-se necessário ampliar os tempos das cadeiras e modificar os programas de outras para transformar o curso actual em curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica mais substancial.

Resumidamente consistiria no seguinte: No decreto n.º 40 378, relativo aos novos planos nos cursos de engenharia, professados nas Universidades portuguesas, promovia-se uma modificação que a nosso ver não alteraria o referido Decreto em vigor porque fundamentalmente utilizaríamos uma formação harmónica com o pensamento do referido decreto. Assim, elaborou-se o programa de dezasseis matérias de opção, na sua quase totalidade equivalentes a adaptações de cadeiras existentes.

No 3.º ano substituir-se-ia a cadeira de Topografia por Aeroelectrónica Teórica e Aplicada.

Nesse mesmo ano introduzir-se-ia uma cadeira especializada de Matemáticas Complementares relativa à aeronáutica.

No 4.º ano o curso de Resistência de Materiais e Elementos de Estabilidade seria uma cadeira, dedicada a resistência de Materiais para Aeronáutica.

A cadeira de Órgãos de Máquinas, I Parte, modificaria o seu programa actual, passando a designar-se por Órgãos de Máquinas para Aeronáutica, I Parte.

A cadeira de Tecnologia Mecânica, I Parte, adaptaria ao seu programa actual novas matérias passando a designar-se por Tecnologia Mecânica para Aeronáutica, I Parte.

A cadeira de Hidráulica Geral, Máquinas Hidráulicas, que é semestral, cederia o tempo do seu semestre para Aerodinâmica, ficando substituída por uma Aerodinâmica desenvolvida, Compressível e Incompressível, anual, aumentando os tempos da aula prática e de laboratório, de 2 para 4 horas semanais.

A cadeira designada por Curso Geral de Máquinas Eléctricas, seria adaptada para Instrumentos e Equipamentos de Aviação e Reguladores e Servomotores, Comando por Inércia.

No 5.º ano a cadeira de Órgãos de Máquinas, II Parte, adaptaria o seu programa actual com novas matérias, passando a designar-se por Órgãos de Máquinas para Aeronáutica, II Parte.

A cadeira de Tecnologia Mecânica, II Parte, adaptaria novas matérias, passando a designar-se por Tecnologia Mecânica para Aeronáutica, II Parte.

A cadeira de Máquinas Alternativas, I Parte, seguiria outras matérias e passaria a designar-se por Motores Alternativos para Aeronáutica, I Parte.

A cadeira de Construções e Instalações Industriais admitiria outras matérias passando a designar-se por Construções e Instalações Industriais e Produção Aeronáutica.

A cadeira de Aeronáutica, I Parte, continuaria com os programas relativos à Dinâmica do Avião e à Aeroelasticidade.

No 6.º ano a cadeira de Máquinas Alternativas, II Parte, seguiria novas matérias, passando a designar-se por Motores Alternativos para Aeronáutica, II Parte.

A cadeira de Turbomáquinas, II Parte, seria dedicada à aplicação industrial da turbina de gás para a qual os Engenheiros Aeronáuticos têm uma preparação aerodinâmica muito substancial, nomeadamente no cálculo dos compressores, câmaras de combustão e rodas motrizes.

A cadeira de Aeronáutica, II Parte, passaria na aula prática de 2 para 4 horas semanais segundo os programas relativos a Propulsão, Helicópteros e Construções Aeronáuticas, este último nos tópicos cimeiros, como desenvolvimento de matérias anteriores.

A cadeira de Construções Mecânicas usaria um programa dedicado a Construções Aeronáuticas, como aplicação de projecto de avião, ou outro objectivo similar.

A cadeira de Laboratório de Máquinas transformar-se-ia em Cadeira de Laboratório de Aeronáutica, incluindo também trabalhos e ensaios em túnel aerodinâmico, em bancos de motores de aviação alternativos, de turbinas de gás, na modalidade de jacto puro ou com hélice.

O projecto de avião, grupo propulsor ou míssil, consistiria em três partes principais:

1) Idealização e seu cálculo em obediência às características impostas.

2) Esforços prováveis dos seus órgãos e resistência das estruturas de um elemento da máquina considerada.

3) Estudo do fabrico de uma peça da máquina em estudo.

Os trabalhos do Laboratório de Aeronáutica, permitiriam a observação e medida de fenómemenos físicos ou químicos da especialidade, com a apresentação do relatório devidamente fundamentado na interpretação dos respectivos problemas.

Todos os trabalhos práticos, de projecto e de laboratório, seriam acompanhados pelo Professor das cadeiras e o aluno teria autorização de trabalhar em horas fora do horário escolar, ou no IST, ou na sua residência, no que fosse possível, sendo ele responsável por um trabalho completo, sem a desculpa da falta de tempo, pelo referido horário oficial. Esta norma é comum a todas as universidades.

Os tirocínios serão de preferência nos centros fabris aeronáuticos do País ou no estrangeiro e de longa duração, (um ano), remunerados.

Esta transformação tem o carácter de cadeiras de opção para o sector pròpriamente aeronáutico e este regime é seguido na Suiça, na Suécia, e noutras nações e nem por isso deixam de apresentar Engenheiros Aeronáuticos de grande valor e que têm assinalado na indústria da especialidade contribuições internacionais na técnica e na ciência ao mais alto nível.

Com a modificação acima referida pode ter a melhor expansão a Aerodinâmica Teórica, visando largamente os escoamentos, o perfil alar, em regimes compressíveis e incompressíveis, bem como a dinâmica do avião, aeroelasticidade, propulsão, (hélices propulsores, hélices sustentadores e simultâneamente propulsivos, compressores axiais e centrífugos, câmaras de combustão rápida, rodas motrizes, motores de turbinas de gás, motores de jacto, estato-reactores, pulso-reactores, motores de reacção pura ou foguetões).

Projectos de avião, (sua missão e equipamentos, características impostas, concepção, ensaios em túnel aerodinâmico, esforços em voo, estruturas e dimensionamento dos órgãos, asa, berços de

motores, fuselagem, governos de altura e de direcção, trem de rolamento, idealização do fabrico destes orgãos).

Também seria para desejar que alunos voluntários do curso de Engenheiro Mecânico Aeronáutico pudessem dispor de mais amplas facilidades para tirarem o certificado de piloto aviador com motor e sem motor e que lhe fossem extensivas as facilidades preconizadas no Decreto-Lei n.º 41 281 e Decreto-Lei n.º 42 151, no relatório prévio, n.º 5, alínea t) e no Artigo 28, usando também de facilidades em transportes militares da Força Aérea, para missões de estudo, visitas ou estágios, no País e no estrangeiro.

Juntamos em anexo um mapa que dará a distribuição das horas do curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica assim desenvolvida.

Esta preparação forneceria os técnicos para o ramo civil e militar, simultâneamente.

No campo militar parece-nos que na Academia Militar um curso de preparação de oficial seria o complemento para ingressar nos quadros da Força Aérea Portuguesa.

Julgamos, no entanto, tornar-se necessário dar o posto de capitão no ingresso do Engenheiro Mecânico Aeronáutico como se verifica em Espanha para que os vencimentos tenham possibilidade de igualar-se ao nível dos empregos dos engenheiros dos Ministérios civis.

MAPA DOS TEMPOS DE ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Disciplinas	1.º Semestre		2.º Semestre	
1.º ano	Aulas teóricas	Aulas práticas	Aulas teóricas	Aulas práticas
Matemáticas Gerais	3	4	3	4
Geometria Descritiva	2	4	2	4
Curso Geral de Química	3	4	3	4
Elementos de Física Atómica	—	—	2	2
Curso Geral de Desenho	—	6	—	6
	26 horas		30 horas	
2.º ano				
Cálculo Infinitésimal	3	4	3	4
Cálculo Numérico, Mecânico e Gráfico	—	—	2	2
Probabilidades, Erros e Estatística	2	2	—	—
Curso Geral de Física	3	4	3	4
Curso Complementar de Desenho	—	6	—	6
Sociologia Geral (questões sociais e morais, relacionadas com a técnica)	3	—	3	—
	27 horas		27 horas	

Disciplinas	1.º Semestre		2.º Semestre	
3.º ano	Aulas teóricas	Aulas práticas	Aulas teóricas	Aulas práticas
Mecânica Racional	2	4	2	4
Matemáticas Complementares para Aeronáutica	2	2	2	2
Curso Complementar de Física	3	4	3	4
Termodinâmica	2	2	2	2
Aeroelectrónica Teórica e Aplicada	3	4	3	4
	28 horas		28 horas	

4.º ano				
Resistência de Materiais para Aeronáutica	2	2	2	2
Órgãos de Máquinas para Aeronáutica, I Parte	2	2	2	2
Tecnologia Mecânica para Aeronáutica, I Parte	2	2	2	2
Aerodinâmica	3	4	3	4
Metalurgia Geral e Metalografia	2	4	2	4
Instrumentos e Equipamentos de Aviação, Reguladores e Servomotores, Comando por Inércia	2	4	2	4
		31 horas		31 horas

5.º ano				
Órgãos de Máquinas para Aeronáutica, II Parte	2	4	2	4
Tecnologia Mecânica para Aeronáutica, II Parte	2	2	2	2
Motores Alternativos de Aeronáutica, I Parte	2	6	—	—
Turbomáquinas, I Parte	—	—	2	6
Construções e Instalações Industriais e Produção Aeronáutica	2	4	2	4
Aeronáutica, I Parte	2	4	2	4
Economia	2	—	2	—
		32 horas		32 horas

6.º ano				
Motores Alternativos para Aeronáutica, II Parte	2	4	2	4
Turbomáquinas, II Parte	2	4	2	4
Aeronáutica, II Parte	2	4	2	4
Organização e Administração	2	2	2	2
Construções Aeronáuticas	—	6	—	6
Laboratório de Aeronáutica, (Túnel Aerodinâmico, Motores de Aviação, Turbinas de Jacto e Turbinas--Hélices, Equipamentos e Instrumentos).	—	6	—	6
		34 horas		34 horas

O actual curso de Engenharia Mecânica, com opção de Aeronáutica, como é natural, tem ùltimamente aumentado de importância, com a concordância dos meios oficiais que para o qual promulgaram disposições também oficiais ([1]).

É natural que a indústria nacional de aeronáutica tenha de futuro um rápido progresso, dadas as característícas e as considerações formuladas que também contribuiem para a evolução das Províncias Ultramarinas. É já interessante mencionar o seguinte:

a) As disposições exaradas em «Diário do Governo», n.º 125, I Série, Decreto-Lei n.º 36 319, de 2-6-1947, que se referem à admissão de Engenheiros Mecânicos Aeronáuticos nos quadros da Direcção Geral de Aeronáutica Civil, com as categorias de 1.ª e 2.ª classe.

Estes quadros têm sido preenchidos por Engenheiros Mecânicos Aeronáuticos do I. S. T. e as vagas têm sido melhoradas esperando-se sejam aumentadas com um número bastante maior.

---

(1) Num paralelo do Engenheiro Mecânico Aeronáutico actual do IST, com o que se passa com o Engenheiro Mecânico Militar, que se destina a armamento, pela análise do Decreto-Lei n.º 42 152, Artigo 12, Alínea *c*) deste curso, deduz-se que sendo constituído pelo curso de Engenheiro Mecânico do IST com mais duas cadeiras sobre armamento, revela que a diferenciação da opção de Aeronáutica actual é substancialmente maior e muito mais volumosa como especialização, sendo esta a explicação da grande aceitação da opção de Aeronáutica no País e no estrangeiro, que tem favorecido os nossos antigos alunos.

b) A Portaria n.º 14 844, da Presidência do Conselho, Direcção Geral do Subsecretário de Estado de Aeronáutica (D. G. n.º 79, I Série, de 14-4-954), que se refere à admissão de Engenheiros preparados pelo Instituto Superior Técnico, com ingresso no quadro permanente, e prestação de serviços militares com a categoria de Engenheiros Aeronáuticos, ficando inscritos na reserva para preencherem os casos de emergência, em perigo de guerra, e referem nesse Decreto preferência sobrelevando a qualquer outra para os Engenheiros Mecânicos com a opção de Aeronáutico pelo I.S.T.

c) As Companhias Aéreas Portuguesas e mesmo as Companhias Americanas, como a T. W. A. e outras, incorporando ao seu serviço Engenheiros Mecânicos e Aeronáuticos do I. S. T., na Metrópole, Ultramar e Ilhas Adjacentes. Os TAP ultrapassam uma dezena de Engenheiros Mecânicos com opção de Aeronáutica, oriundos do I. S. T. nos seus serviços técnicos e industriais.

d) As Oficinas Gerais de Material Aeronáutico, de Alverca, admitem Engenheiros Mecânicos com opção de aeronáutica, em vagas de categorias militares e civis, sendo os civis com vencimentos equivalentes aos dos outros Ministérios.

e) A Lista do Pessoal da Força Aérea, elevou à categoria de Engenheiros Aeronáuticos Militares, para funções fabris e industriais Engenheiros Mecânicos com opção de Aeronáutica, do I. S. T., etc.

Passamos agora a referir o outro ramo da Engenharia Aeronáutica.

ENGENHEIRO ELECTROTÉCNICO AERONÁUTICO

Possui actualmente o Instituto Superior Técnico o curso de Engenheiro Electrotécnico com cadeiras de opção para correntes fortes e correntes fracas.

Propomo-nos definir o Engenheiro Electrotécnico Aeronáutico pelo resultado de alterações ao programa de algumas cadeiras.

Fundamentalmente interessa a introdução da Aeroelectrónica, Medidas Eléctricas e Radiotécnicas, Equipamento Geral e Eléctrico de Bordo para Aviões, Rádio-Navegação Aeronáutica, Radar. Todas estas matérias acompanhadas além da teoria, com prática intensa, oficinas de construção com montagem de aparelhos e seus laboratórios.

Pelo exposto, no 3.º ano, os tempos das duas cadeiras de Electrónica e Topografia seriam substituídos pela cadeira de Aeroelectrónica, semanalmente, com três horas teóricas, duas práticas e duas de laboratório, totalizando oito horas por semana.

No 4.º ano a cadeira de Medidas Eléctricas, introduzindo no seu programa também Medidas Radiotécnicas.

No 5.º ano a cadeira de Electrónica Aplicada seria substituída por Aeroelectrónica Aplicada, com um semestre no qual semanalmente se dariam três horas teóricas e quatro práticas.

A cadeira de Hidráulica Geral e Máquinas Hidráulicas e Hidráulica Aplicada seria substituída com Equipamento Geral e Eléctrico de Bordo para Aviões.

O Laboratório de Electricidade visaria também Instalações Radioeléctricas de Bordo com seis horas de prática semanais.

No 6.º ano a primeira cadeira de opção seria atribuída a Rádio-Navegação Aeronáutica, com, semanalmente, duas horas teóricas e seis horas práticas.

A segunda cadeira de opção seria substituída por Radar sendo atribuído semanalmente duas horas teóricas e duas práticas.

A cadeira de Construções e Instalações industriais, seria adaptada para Aeronáutica, como no caso do Engenheiro Mecânico Aeronáutico.

O Engenheiro com esta preparação não abandona as correntes fortes e portanto quando uma vez formado não tiver aplicação imediata à especialidade de Aeronáutica, poderá desempenhar lugares como Engenheiro Electrotécnico.

É este um meio de defesa em Portugal para que todos estes especialistas não possam ser condenados a qualquer crise que teria o inconveniente de privar o País do culto desta especialização.

Resumindo: As cadeiras de Electrónica e Topografia seriam substituídas por Aeroelectrónica. A cadeira de Medidas Eléctricas por Medidas Eléctricas e Radiotécnicas. Electrónica Aplicada por Aeroelectrónica Aplicada. Hidráulica Geral, Máquinas Hidráulicas e Hidráulica Aplicada por Equipamento Geral e Eléctrico de Bordo para Aviões. Laboratório de Electricidade visando também Instalações Radioeléctricas de Bordo para Aviões. A primeira cadeira de Opção por Rádio-Navegação Aeronáutica. A segunda cadeira de Opção por Radar. A cadeira de Construções e Instalações Industriais adaptada para Produção Aeronáutica.

Todos os trabalhos práticos, de projecto e de laboratórto seriam acompanhados pelo Professor das cadeiras que lhe dizem respeito e o aluno teria autorização de trabalhar em horas fora do horário escolar, ou no IST, ou na sua própria residência, no que fosse possível, sendo ele responsável por um trabalho final completo, sem a desculpa da falta de tempo, pelo referido horário oficial. Sublinhamos, que esta norma é comum a todas as Universidades.

Passaremos à distribuição dos tempos e daremos o programa de cada uma das matérias próprias a considerar na formação do Engenheiro Electrotécnico Aeronáutico, nas publicações a que se referem a pág. 617, desta Revista e a sua nota (1).

MAPA DOS TEMPOS DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA AERONÁUTICA

Disciplinas	1.º SEMESTRE		2.º SEMESTRE	
1.º ano	Aulas teóricas	Aulas práticas	Aulas teóricas	Aulas práticas
Matemáticas Gerais	3	4	3	4
Geometria Descritiva	2	4	2	4
Curso Geral de Química	3	4	3	4
Elementos de Física Atómica	—	—	3	2
Curso Geral de Desenho	—	6	—	6
	26 horas		31 horas	
2.º ano				
Cálculo Infinitésimal	3	4	3	4
Cálculo Numérico, Mecânico e Gráfico	—	—	2	2
Probabilidades, Erros e estatística	2	2	—	—
Curso Geral de Física	3	4	3	4
Curso Complementar de Desenho	—	6	—	6
Sociologia Geral (Questões morais e sociais relacionadas com a técnica	3	—	3	—
	27 horas		27 horas	
3.º ano				
Mecânica Racional	2	4	2	4
Análise Superior	2	2	—	—
Curso Complementar de Física	3	4	3	4
Aeroelectrónica	2	4	3	4
	23 horas		20 horas	

4.º ano				
Electrotécnica Teórica	3	4	3	4
Medidas Eléctricas e Radiotécnicas	2	4	2	4
Máquinas Eléctricas, I Parte	2	4	2	4
Tecnologia Mecânica, I Parte	2	2	2	2
Resistência de Materiais e Elementos de Estabilidade	2	2	2	2
Órgãos de Máquinas, I Parte	2	2	2	2
		31 horas		31 horas
5.º ano				
Máquinas Eléctricas, II Parte	3	2	3	2
Aplicações de Electricidade, I Parte	3	4	3	4
Telecomunicações, I Parte	3	4	—	—
Aeroelectrónica Aplicada	—	—	3	4
Equipamento Geral e Electricidade de Bordo para Aviões	3	2	3	2
Economia	2	—	2	—
Laboratório de Electricidade visando Instalações Rádio-Eléctricas de Bordo para Aviões	—	6	—	6
		32 horas		32 horas
6.º ano				
Rádio-Navegação Aeronáutica	2	6	2	6
Radar	2	2	2	2
Máquinas Motrizes e Auxiliares	2	2	2	2
Construções e Instalações Industriais e Produção Aeronáutica	2	4	2	4
Organização e Administração	2	2	2	2
Construções Electro-Mecânicas	—	6	—	6
		32 horas		32 horas

Dada a importância que atribuímos a mais este desenvolvimento a integrar no Instituto Superior Técnico formulámos o voto do assunto ser apontado não só ao Ministério da Educação Nacional, mas também à Academia Militar e às entidades aeronáuticas do País, Secretariado de Estado de Aeronáutica, Direcção Geral da Aeronáutica Civil, Oficinas Gerais de Material Aeronáutico, Transportes Aéreos Portugueses, Divisão de Transportes Aéreos de Angola, Divisão de Exploração dos Transportes Aéreos de Moçambique e outras, para que continuem a evidenciar o seu interesse valiosa colaboração e aplicação substancial dos nossos antigos alunos preparados neste ramo de engenharia.

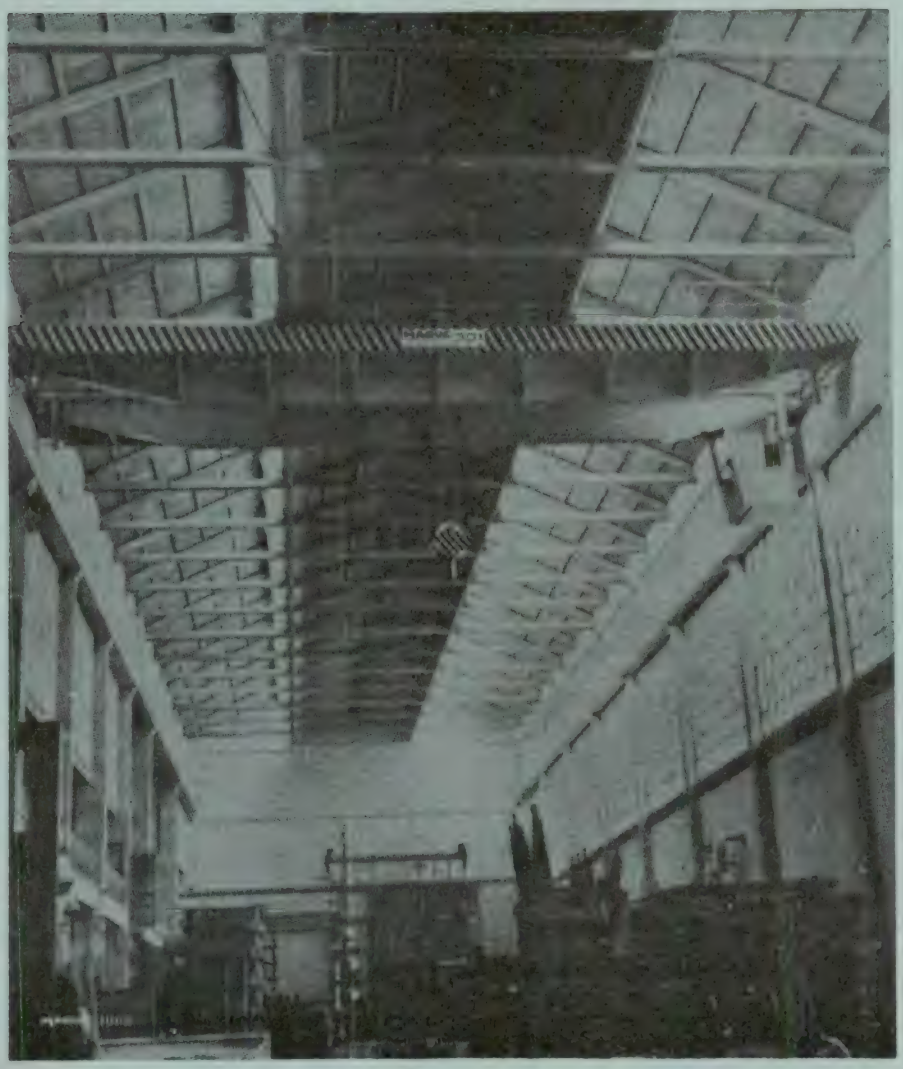
Ao terminar, desejo agradecer aos Engenheiros e membros do Grupo Português de Aeronáutica e do Grupo Português de Astronáutica, que na sede da Ordem dos Engenheiros, no I. S. T., e durante o Congresso do Ensino de Engenharia deram a sua expontânea e valiosa assistência durante a elaboração deste trabalho.

MAGUE

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE,

(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)

Alverca — Portugal



Ponte rolante eléctrica de 30 t/17,6 m em funcionamento na EFACEC, Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, S. A. R. L. — PORTO

•

PROJECTO E FABRICO DE

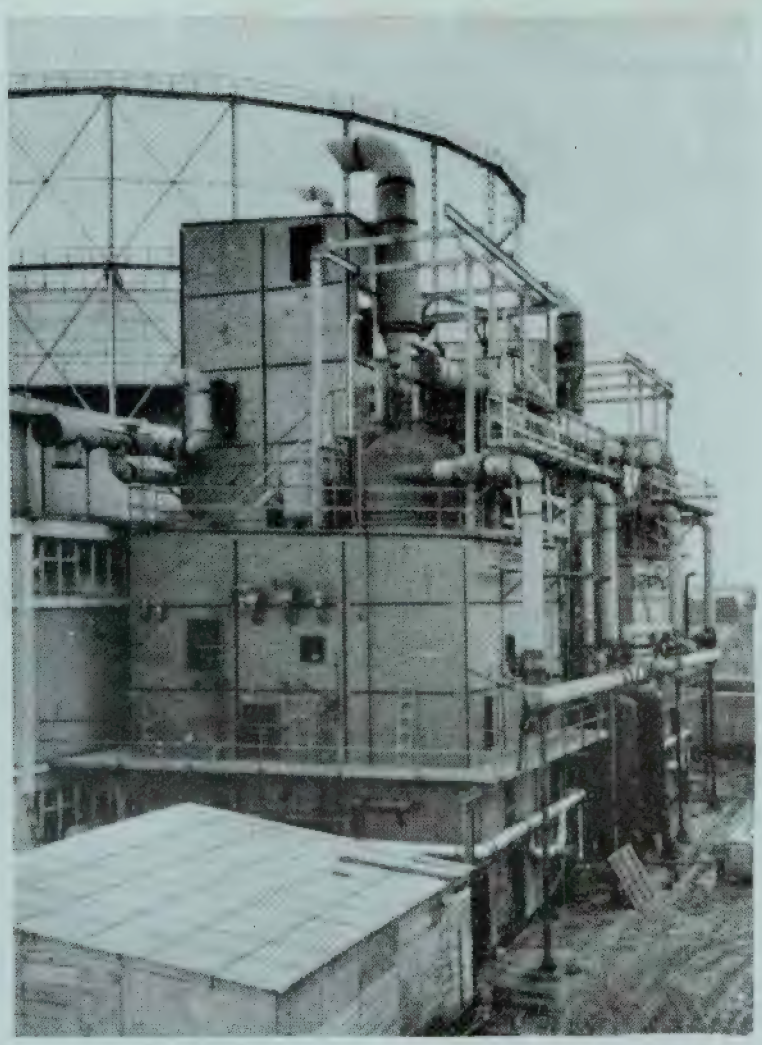
PONTES ROLANTES

GUINDASTES

GRUAS. DERRICKS E GUINCHOS

APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS

CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS



CARCAÇA

DE

FRACCIONAMENTO

DE

AR

AÇOS VAZADOS • FERROS FUNDIDOS
MECÂNICA MÉDIA E PESADA
CONSTRUÇÕES METÁLICAS

comportas
turbinas
condutas forçadas
reservatórios sob pressão
permutadores de calor

REDUTORES DE VELOCIDADE

DIVISÃO METALO-MECÂNICA

COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AV. 24 DE JULHO, 170 — LISBOA 2 — TELEFONES 67 04 21 E 67 20 61 — TELEGRAMAS: METALOFABRIL

C. D. D. 621.004.6/7 : 519.28

Previsão Estatística de Avarias de Máquinas

PELO ENG.º ALMEIDA E CASTRO
1.º Assistente do I. S. T.

Frequentemente tem o engenheiro de se confrontar com a avaliação da probabilidade de avaria inerente a uma dada máquina. Com efeito, é sobre essa avaliação que assentará toda a sua política de aprovisionamento em materiais ou elementos sobresselentes e de organização dos meios destinados a assegurar a manutenção da máquina em causa, na intenção de a conservar em funcionamento *eficiente* com o mínimo de dispêndio e de interrupções na função útil para que foi adquirida.

Aplicações recentes da Análise Estatística a problema tão «fluído» vieram colocar ao alcance do Engenheiro um novo instrumento de trabalho, que lhe possibilita a obtenção de soluções, garantindo já um razoável grau de solidez. Pretende-se neste artigo apresentar uma síntese das noções fundamentais mais relevantes e de algumas das suas aplicações mais directas. Pela bibliografia indicada em apêndice, poderá o leitor interessado penetrar mais firmemente nesta fértil disciplina.

1. FUNÇÕES DE SOBREVIVÊNCIA

1.1. *Definição*

Se for observado estatìsticamente o comportamento de um certo número de elementos ou conjuntos iguais, notar-se-á (após ter definido com exactidão os critérios técnicos que determinam num dado momento a sua classificação como *incapaz para o serviço*) que o tempo de funcionamento ao fim do qual o órgão ou mecanismo em causa atinge essa classificação se apresenta como uma variável aleatória T, à qual corresponderá uma densidade de probabilidade $i(t)$.

Assim, por definição, a probabilidade para que a duração útil dum mecanismo esteja compreendida entre t e t + dt será

$$P(t \leqslant T \leqslant t + dt) = i(t) \,.\, dt$$

Por outro lado, a função de distribuição da variável T será definida como

$$I(t) = \int_0^t i(u) \,.\, du = P(T < t)$$

isto é, evidentemente, a probabilidade de T ser inferior a t, ou melhor a probabilidade de se verificar avaria (ou «invalidez») durante um período de utilização comportando t horas efectivas de funcionamento. O complemento desta função

$$V(t) = 1 - I(t)$$

representa portanto a probabilidade de uma duração útil superior ou igual a t, ou seja a probabilidade de se encontrar a máquina ainda em condições de integral «validez» após t horas de funcionamento efectivo. A esta função $V(t)$ chamar-se-á *função de sobrevivência* de mecanismo em questão e *curva de sobrevivência* à curva que a representa.

Subentende-se imediatamente que, se houver em serviço um número suficientemente elevado de mecanismos iguais, $V(t)$ indicará a fracção de número total de mecanismos que se encontrarão ainda válidos depois de cada um ter trabalhado t horas. Esclarece-se desde já que t não tem de ser necessàriamente medido em unidades de tempo, podendo utilizar-se qualquer outro parâmetro que se entenda mais rigorosamente significativo do trabalho efectivo da máquina (quilómetros percorridos, ciclos de funcionamento, dísparos efectuados, etc).

1.2. *Casos mais interessantes*

1.2.a) *Exponencial*

No caso particular de uma máquina ou peça que seja sensível ùnicamente a avarias de carácter fortuito ou acidental, a função de sobrevi-

vência tomará a forma expenencial. Com efeito a hipótese posta corresponde ao seguinte enunciado:

«A probabilidade de a máquina, tendo atingido sem avaria uma idade t, poder assim continuar até t + a é independente de t», ou ainda «a probabilidade instantânea de avaria é constante».

Veja-se portanto: qual é a probabilidade a priori de se verificar avaria entre t e t + dt? Este é, como já se definiu

$$P(t \leqslant T \leqslant t + dt) = i(t) \,.\, dt$$

Esta probabilidade resulta contudo da composição de duas: a probabilidade de atingir t sem avaria, ou seja V(t), e a probabilidade condicional de avaria entre t e t + dt depois de se atingir t, a que se chamará r(t) . dt. Logo:

$$i(t) \,.\, dt = V(t) \,.\, r(t) \,.\, dt$$

ou seja:

$$r(t) = \frac{i(t)}{V(t)} = -\frac{1}{V(t)} \cdot \frac{dV}{dt}$$

visto que

$$r(t) = \frac{dI}{dt} = -\frac{dV}{dt}$$

Assim, na hipótese de r(t) ser independente de t, escreveremos

$$r(t) = \lambda$$

e daí

$$\lambda = -\frac{1}{V(t)} \cdot \frac{dV}{dt}$$

sendo λ uma constante designada por *frequência de avarias.*

Daqui resulta finalmente

$$V(t) = e^{-\lambda t}$$

a que corresponde uma curva de sobrevivência como a representada na fig. 1.

Esta função só dará $V = 0$ para $t = \infty$, o que não deixa de ser lógico se atendermos a que só se consideraram avarias fortuitas ou acidentais. A abcissa média, ou intervalo-médio entre avarias, obtém-se com

$$t = \frac{1}{\lambda} = m$$

o que corresponde

$$V(m) = 0{,}368$$

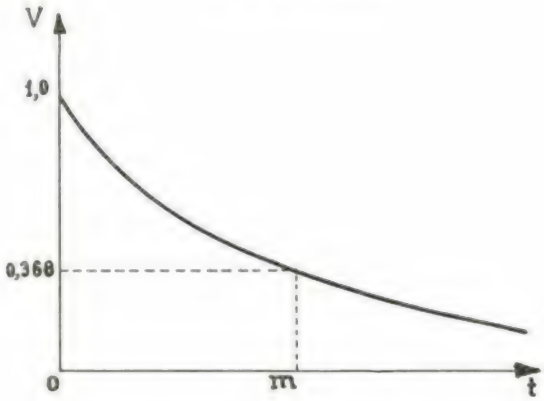


Fig. 1

significando que o intervalo médio assim definido corresponde à duração útil mínima de 36,8 % das máquinas ou peças do tipo estudado relativamente à incidência de avarias acidentais.

Note-se bem que, apesar do carácter acidental das avarias, uma curva mais ou menos alta não deixará de ser reflexo da fragilidade intrínseca do material e da severidade das condições de trabalho que lhe foram impostas.

1.2.b) *Normal*

Quando se trata porém de peças ou mecanismos sujeitos a desgaste ou a qualquer outra forma de enfraquecimento progressivo acumulado pelo uso, o modelo exponencial já não se ajusta à boa representação dos factos e assim há que procurar outro.

É de domínio comum que analisando o comportamento de uma população homogénea, constituída por materiais idênticos, se notará tendência para a concentração dos valores de T em torno de um valor médio, aparecendo no entanto sempre uma certa dispersão que caracterizará as inevitáveis diferenças de matéria, de fabrico e até de condições de trabalho (embora aparentemente se suponham iguais). Sendo em geral a dispersão resultante de um grande número de causas, cada uma delas individualmente pouco influentes, é de esperar que a função i(t) definida no início deste artigo corresponda a *uma distribuição normal* de probabilidades (fig. 2) e assim:

$$i(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-M)^2}{2\sigma^2}}$$

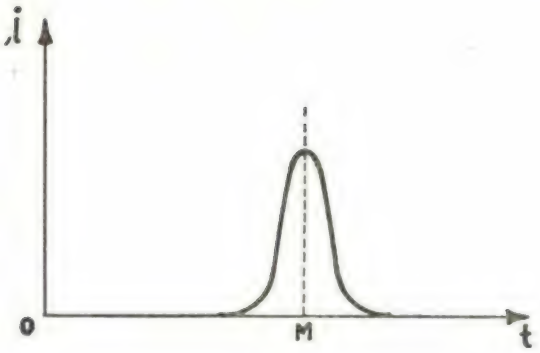


Fig. 2

sendo σ o desvio-padrão e M o valor médio dos TT no eixo das abcissas (t).

Nesta hipótese ficará (fig. 3)

$$V(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-M)^2}{2\sigma^2}} \, dt$$

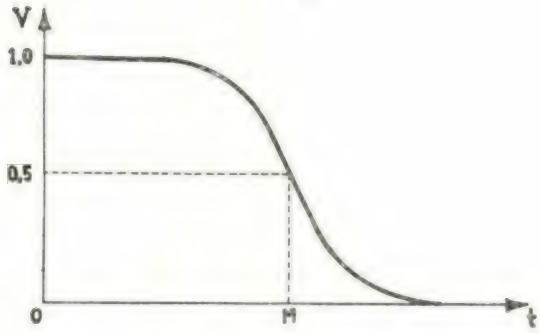


Fig. 3

Aqui também só será $V = 0$ para $t = \infty$, mas o facto de efectivamente V tomar valores baixíssimos logo que t se afaste bastante de M (dependendo, é claro de σ) faz com que esta circunstância não afecte grandemente a validade prática do modelo. Quanto ao valor médio M, a este corresponderá igualmente a mediana, isto é $V = 0{,}5$ para $t = M$, quer dizer, 50 % da população estudada ter-se-á inutilizado antes de atingir M horas de trabalho efectivo.

1.2.c) *Logonormal*

Notando que em muitos casos os factores acidente e desgaste se encontram combinados por forma indestrinsável, alguns autores imaginaram aplicar a distribuição normal, não directamente sobre t mas sobre uma variável auxiliar x, definida como

$$x = \frac{\log\left(\frac{t}{\alpha}\right)}{\mu}$$

donde

$$V(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{x^2}{2}} \, dx$$

Sendo:

- α a idade mediana da máquina, isto é, o valor de t correspondente à ordenada 0,5 (50 % de avarias).
- μ um parâmetro (entre 0 e 1) escolhido por forma a fazer coincidir esta lei *logonormal* o mais possível com a curva experimental.

Nestas condições, o valor médio de t será dado por

$$M = \alpha \, . \, e^{\frac{\mu^2}{2}}$$

notando-se imediatamente que, para valores de μ vizinhos de 0, esta função de sobrevivência aproximar-se-á bastante da lei normal atrás apresentada $\left(\text{com } \alpha = \frac{\sigma}{M}\right)$ ao passo que com os valores mais elevados de μ (próximos da unidade) se obterão curvas tendendo para a exponencial.

1.3. *Campo de aplicação da função exponencial*

Do que foi dito parece deduzir-se que a função exponencial é de aplicar exclusivamente em materiais não sujeitos a deterioração progressiva com o uso, pelo que não seria geralmente de utilizar quando se tratasse de órgãos mecânicos que, ou por desgaste ou por fadiga acumulada, têm sempre a sua duração válida mais ou menos influênciada pela «idade». O uso da função exponencial neste caso só seria possível quando pelo exame das peças avariadas se conseguisse classificar as causas da inutilização e assim caracterizar por um lado as avarias devidas ao uso acumulado (representadas por uma função do tipo normal) e por outro as devidas a causas acidentais — defeitos de material ou fabrico, imprevista concentração de esforços, etc. — repre-

sentando estas, evidentemente, por uma função do tipo exponencial.

Por outro lado ao estudar o comportamento de sistemas em curtos períodos de trabalho, muito longe da zona de influência do uso ou desgaste, é também óbvio que as avarias ocorrentes serão dominantemente de origem acidental, seguindo portanto a lei exponencial.

Isto seria no entanto bem pouco para a comodidade que a função exponencial oferece no tratamento destes problemas (necessidade de fixação de um único parâmetro, λ, contra dois na função normal e três na logonormal) se efectivamente não houvesse outra possibilidade de aplicação, esta bem mais vasta como se verá a seguir.

Suponha-se um sistema composto de vários elementos (por hipótese simplificativa todos iguais) sujeitos a deterioração progressiva com o uso. Como se sabe, se todos os componentes tiverem sido montados «em novo» numa data $t = 0$, as primeiras avarias neste sistema vão verificar-se segundo uma lei normal de frequências com média M e desvio-padrão σ (I na fig 4). Como porém os elementos de substituição não vão entrar ao serviço simultâneamente, mas gradualmente à medida que forem sendo necessários, compreende-se que as avarias desta 2.ª geração se venham a verificar segundo uma lei normal mais dispersa, isto é, com uma variância dupla da que caracterizou a 1.ª geração. Portanto, à curva II da fig. 4 corresponderá uma média 2 M e um desvio $\sigma \cdot \sqrt{2}$. Esta dispersão acentuar-se-á ainda mais quanto à retirada da 3.ª geração (III na fig. 4) e assim sucessivamente, até que acabarão por estar em serviço várias gerações simultâneamente, não se distinguindo umas das outras e *passando as avarias a verificar-se a um ritmo médio sensìvelmente constante.*

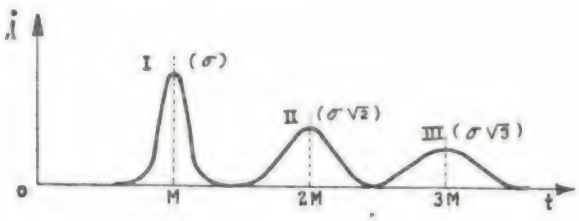


Fig. 4

Note-se, assim, que um conjunto de elementos tìpicamente sujeitos a deterioração progressiva segundo uma lei normal, acaba por atingir um ritmo constante de avarias *desde que os seus componentes só sejam substituídos à medida que se inutilizam,* coexistindo então no sistema elementos de várias gerações, que aliás não interessa distinguir. A situação de mistura indescriminada é atingida tanto mais cedo quanto maior for a dispersão inerente à população em causa.

Pràticamente a estabilização é atingida ao fim dum tempo de serviço do sistema dado por

$$T = \frac{M^2}{3\sigma}$$

e a partir deste momento o sistema comportar-se-á exponencialmente, ou seja

$$V(t) = e^{-\lambda t}$$

em que $\lambda = \frac{N}{M}$, sendo N o número de elementos que compõem o sistema estudado.

1.4. *Sistemas compostos*

As funções de sobrevivência acima descritas tanto podem referir-se a orgãos, ou elementos simples, como a maquinismos, ou sistemas compostos, podendo até de umas deduzir-se outras: basta para tanto que se atenda às características do sistema em estudo e à sua utilização.

Assim, se num sistema composto de n elementos simples, a avaria de *um elemento* qualquer implica a inutilização de todo o sistema, este diz-se composto de elementos *em série* e a sua função de sobrevivência será dada por:

$$V_s(t) = V_1(t) \times V_2(t) \times \ldots \times V_n(t)$$

ou, no caso de todos os componentes serem iguais:

$$V_s(t) = [V(t)]^n$$

Quando porém o sistema só se considera incapaz quando *todos* os seus componentes estiverem avariados, então o sistema diz-se *em paralelo* e a respectiva função de sobrevivência resultará de:

$$I_s(t) = I_1(t) \times I_2(t) \times \ldots \times I_n(t)$$

donde:

$$V_s(t) = 1 - I_s(t) = 1 - [I_1(t) \times \ldots \times I_n(t)]$$

ou, no caso de absoluta identidade dos seus componentes:

$$V_s(t) = 1 - [I(t)]^n$$

Se o sistema tiver apenas 2 componentes será, como se pode fàcilmente deduzir:

$$V_s(t) = V_1 + V_2 - V_1 . V_2$$

Estes dois casos não são mais do que aplicações da conhecida regra de Bayes: Se A é uma possibilidade que depende da realização de uma de duas hipóteses B_i e B_j (incompatíveis e complementares), a probabilidade de ocorrência de A será:

$$P(A) = P(A, \text{com } B_i) . P(B_i) + P(A, \text{com } B_j) . P(B_j)$$

Portanto, no caso de um sistema que depende para o seu funcionamento do estado (bom ou mau) de um dado componente X, ter-se-á:

$$I_s = I_s (X \text{ bom}) . V_x + I_s (X \text{ mau}) . I_x$$

donde se obtém:

$$V_s = 1 - I_s$$

Com este instrumento podem obter-se as funções de sobrevivência características de sistema complexos, o que também se designa por «fazer a análise da respectiva *segurança de funcionamento*», dado que os maiores ou menores valores de $V_s(t)$ indicam a maior ou menor segurança ou garantia que o sistema oferece contra avarias. Por isso a $V_s(T)$ se pode chamar também *factor de segurança* do mecanismo em causa, correspondente ao período T.

Note-se porém, antes de passar adiante, que a dependência entre as funções individuais e a colectiva resulta, durante a análise ao sistema, da consideração não só das suas características intrínsecas (número de elementos e sua disposição no sistema) mas também do critério de utilização que for adoptado. Assim, um mesmo sistema pode ser considerado «paralelo» se se considerar que uma avaria parcial não o inutiliza para a função que lhe foi atribuída, mas terá sem dúvida de ser classificado como «série» se o que se deseja é uma permanente aptidão *total* para o trabalho, não sendo admitida neste caso a falha de um único dos seus componentes.

2. ALGUNS EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

2.1. *Estudo de reaprovisionamentos*

Quando se tem em exploração um certo número de equipamentos, idênticos mas de idades diversas, há todo o interesse em prever as necessidades de aprovisionamento em elementos de substituição ou reparação. Quando o número de equipamentos em serviço é sensìvelmente constante, o problema resolve-se com boa aproximação conhecendo a duração média de cada elemento.

Se porém o número de equipamentos em uso, não for constante, sendo definido por uma função f (t), o que se pode chamar *função de exploração*, só o conhecimento da respectiva função de sobrevivência permite estabelecer as previsões desejadas.

Seja N_0 o número de equipamentos originalmente em serviço ($f(0) = N_0$); se não fosse efectuada nenhuma substituição ou renovação, o número de equipamentos sobreviventes no tempo t, a contar desta origem, seria

$$N(t) = N_0 . V(t)$$

Seja, por outro lado, r (u) o número de equipamentos substituídos ou renovados no período de 0 a u. O diferencial $r'(u) . du$ dá o número de substituições efectuadas entre u e u + du. O número de equipamentos provenientes destas substituições e ainda utilizáveis na data t será:

$$r'(u) . V(t-u) . du$$

Portanto, a quantidade total de equipamentos em serviço no momento t, incluindo os sobreviventes do lote N_0 original, será sem dúvida f (t), dado por:

$$f(t) = N_0 . V(t) + \int_0^t r'(u) . V(t-u) . du$$

À função r' (u) pode chamar-se *frequência de reaprovisionamento* (ou de reparação) designando-a por $\rho(u)$, visto corresponder ao número de elementos a substituir ou reparar por unidade de tempo

$$f(t) = N_0 . V(t) + \int_0^t \rho(u) . V(t-u) . du$$

Conhecendo-se f (t) e V (t) haverá que resolver esta equação para achar $\rho(u)$. A solução por meio do cálculo operacional conduz a

$$R = \frac{F}{W} - N_0$$

em que R, F e W são as transformadas de Laplace das funções r, f e V, respectivamente. Do conhe-

cimento por via analítica de $r(u)$ se deduz $\rho(t) = r'(t)$ e portanto fica determinada a lei de variação da frequência de reaprovisionamento (ou de reparação), necessária para assegurar uma lei de exploração $f(t)$ prèviamente imposta.

No caso particular da função de sobrevivência exponencial $V(t) = e^{-\lambda t}$ e da função de exploração invariável $f(t) = N_0$, para todos os valores de t superiores a zero, a resolução indicada conduz a

$$r(t) = N_0 \,.\, \lambda \,.\, t$$

e

$$\rho(t) = r'(t) = N_0 \,.\, \lambda$$

isto é, neste caso a frequência de reaprovisionamento (ou reparação) é também constante.

Em muitos casos, porém, é possível obter uma solução por degraus sucessivos, dividindo o período útil de vida dos equipamentos num certo número de intervalos, correspondendo simultâneamente à unidade período de aprovisionamento e à unidade mínima da função de exploração.

Assim sendo, a curva de sobrevivência será substituída por um sistema discreto de pontos definido os valores de V correspondentes aos valores médios de t em cada intervalo (designados por 0, 1, 2 .....), notando sempre que, por definição, $V(0) = 1$. Em resultado deste artifício simplificativo, $f(t)$ será dado agora por:

$$f(t) = N_0 \,.\, V(t) + \sum_{n=1}^{t} \rho(u) \,.\, V(t-u)$$

donde:

$$f(0) = N_0$$

$$f(1) = N_0\, V(1) + \rho(1)$$

ou seja

$$\rho(1) = f(1) - N_0 \,.\, V(1)$$

e depois, sucessivamente:

$$\rho(2) = f(2) - N_0 \,.\, V(2) - \rho(1) \,.\, V(1)$$

$$\rho(3) = f(3) - N_0 \,.\, V(3) - \rho(1) \,.\, V(2) - \rho(2) \,.\, V(3)$$

até:

$$\rho(t) = f(t) - N_0 \,.\, V(t) - \sum_{n=1}^{t-1} \rho(u) \,.\, V(t-u)$$

Contudo, se os equipamentos iniciais não forem todos novos, isto é, se N_0 for constituído por materiais de várias idades $N'_0(0)$, $N'_0(1)$, ... $N'_0(a)$, então o número de equipamentos originais sobreviventes na data t não será simplesmente $N_0 \,.\, V(t)$ mas sim

$$N_t = N'_0(0) \,.\, V(t) + N'_0(1)\, \frac{V(t+1)}{V(1)} + N'_0(2)\, \frac{V(t+2)}{V(2)} + \ldots + N'_0(a)\, \frac{V(t+a)}{V(a)} = \sum_{x=0}^{a} N'_0(x)\, \frac{V(t+x)}{V(x)}$$

e então terá mais generalidade escrever

$$\rho(t) = f(t) - \sum_{x=0}^{a} N'_0(x)\, \frac{V(t+x)}{V(x)} - \sum_{n=1}^{t-1} \rho(u) \,.\, V(t-u)$$

Conhecida portanto a situação inicial (na data 0), a função de sobrevivência dos elementos em causa $V(t)$ e imposta uma função de exploração $f(t)$ indicativa de quantos elementos se pretende utilizar em cada período $(t, t+1)$, pode por este processo determinar-se a função de reaprovisionamento (ou lei de consumos de sobresselentes) através do conhecimento do conjunto discreto $\rho(0)$, $\rho(1)$, $\rho(2)$ ... Inversamente, o conhecimento de $\rho(t)$ (evolução dos consumos num dado período) e da função $f(t)$ que nesse período a determinar, permite também efectuar o traçado da curva de sobrevivência $V(t)$ correspondente ao material em estudo.

2.2. *Manutenção preventiva*

Quando as consequências das avarias são excessivamente dispendiosas, quer pelo custo da reparação quer pelos prejuízos que directa ou indirectamente resultam de forçada imobilização dos equipamentos em causa, recorre-se geralmente a um critério de *manutenção preventiva*. Segundo este, efectuam-se revisões gerais a intervalos regulares pré-estabelecidos, substituindo-se nestas revisões todos os órgãos da máquina que tenham atingido uma certa idade *qualquer que seja o seu estado aparente.*

Assim se espera reduzir substancialmente o número de avarias, diminuindo em consequência as despesas daí resultantes.

Como é evidente, porém, a eficácia deste sistema depende da justeza com que for fixado o período entre revisões gerais. Com efeito, do

facto de se substituir um certo número de elementos antes da sua inutilização resulta um efectivo abaixamento da duração média do lote, como se verá a seguir.

Qualquer que seja a forma da função de sobrevivência do material em estudo, já foi definida a sua duração média como

$$M = \int_0^{\infty} V(t) \, . \, dt$$

Se for estabelecido um período t_1 no fim do qual todos os elementos são obrigatòriamente renovados, isso equivale a truncar a curva de sobrevivência por $t = t_1$ (fig. 5).

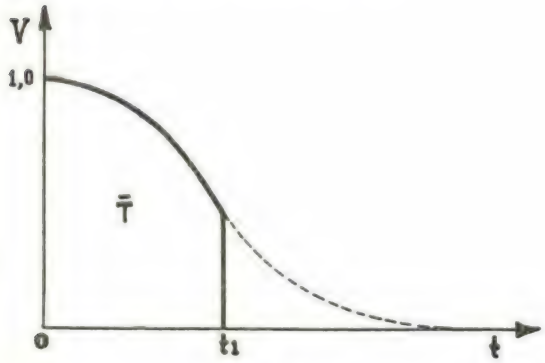


Fig. 5

Nestas circunstâncias, a duração média efectiva passará a ser

$$T = \int_0^{t} V(t) \, . \, dt < t_1$$

correspondendo à área assinalada na figura, visto ser $V(0) = 1$.

Assim, designando por R o número médio de revisões por hora de funcionamento — soma da quantidade R_p, de revisões periódicas normais, com o número R_a de revisões acidentais provocadas por avaria — ter-se-á, por cada equipamento em exploração

$$R = R_p + R_a = \frac{1}{T}$$

Por outro lado, R_p representa a parte de R correspondente à probabilidade de cada equipamento efectuar t_1 horas de trabalho sem avaria

$$R_p = \frac{V(t_1)}{\bar{T}}$$

e também

$$R_a = \frac{1 - V(t_1)}{\bar{T}}$$

Lògicamente, a escolha do melhor intervalo t_1 deverá ser determinada por um critério de custo total mínimo, isto é, procurar-se-á minimizar

$$K = C_p R_p + C_a R_a = C_p \frac{V(t_1)}{\bar{T}} + C_a \frac{1 - V(t_1)}{\bar{T}} = C_a \frac{1}{\bar{T}} - (C_a - C_p) \frac{V(t_1)}{\bar{T}}$$

sendo C_p o custo médio de uma revisão periódica (normal) e C_a o custo médio estimado de uma avaria (incluindo as suas consequências...). Esta expressão poderia ainda completar-se incluindo as despesas de exploração corrente, susceptíveis em certos casos de variar significativamente com a idade (consumos de combustível e lubrificantes, por exemplo); em qualquer hipótese, porém, é bem claro que a pesquisa do mínimo de K só tem geralmente sentido quando seja $C_a > C_p$.

Há portanto que determinar o ponto t_1^* que anula a derivada de K em ordem a t_1

$$\left[\frac{dK}{dt_1}\right]_{t_1^*} = 0$$

Ora

$$K = \frac{C(t_1)}{\bar{T}(t_1)}$$

em que $\bar{C}(t_1)$ é o custo total médio por t_1 horas de funcionamento efectivo; sendo assim, terá de ser, para $t_1 = t_1^*$,

$$\frac{dK}{dt_1} = \frac{1}{\bar{T}^2} \left(\frac{d\bar{C}}{dt_1} \cdot \bar{T} - \bar{C} \frac{d\bar{T}}{dt_1} \right) = 0$$

donde resulta necessàriamente:

$$\left[\frac{d\bar{C}}{d\bar{T}}\right]_{t_1^*} = \left[\frac{\bar{C}}{\bar{T}}\right]_{t_1^*}$$

que exprime, afinal, a conhecida regra da «igualdade entre o custo marginal e o custo médio».

No caso particular da função de sobrevivência exponencial ter-se-á

$$\bar{T} = \int_0^{t_1} e^{-\lambda t} \, . \, dt = \frac{1 - e^{-\lambda t_1}}{\lambda}$$

donde

$$K = C_a \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda t_1}} - (C_a - C_p) \frac{\lambda e^{-\lambda t_1}}{1 - e^{-\lambda t_1}} =$$

$$= \lambda \left[\frac{e^{-\lambda t_1}}{1 - e^{-\lambda t_1}} C_p + C_a \right]$$

O mínimo aqui só aparece para $t_1 = \infty$, o que significa não se justificar a manutenção preventiva quando V(t) seja exponencial, salvo se for decisivo o agravamento das despesas de exploração com o aumento de t_1.

Outro critério, igualmente válido, seria o de não admitir por ano mais do que um certo número de revisões não-programadas, isto é: fixar um mínimo para $V(t_1)$ e daí deduzir a gama dos t_1 possíveis.

2.3. *Funções de reserva e socorro*

A necessidade de assegurar a satisfação de certas produções com um mínimo de interrupção obriga por vezes a suplementar certos equipamentos por outros que, encontrando-se normalmente de reserva, terão de entrar em serviço sempre que o equipamento principal se avarie, socorrendo assim a produção enquanto este é reparado.

Nestas circunstâncias, portanto, fixa-se uma função de sobrevivência mínima V(t) para o sistema ou, mais geralmente, especifica-se um valor mínimo $V(\theta)$ que o sistema deverá garantir em cada período de utilização global. Se o equipamento base puder apresentar por, si só,

$$V_b(\theta) \geqslant V(\theta)$$

o problema estará automàticamente resolvido. Se, contudo, as exigências da produção obrigarem a estabelecer $V(\theta)$ num nível que não possa ser satisfeito sob todas as condições pelo equipamento-base adoptado, será necessário introduzir, em paralelo com este, um equipamento de reserva e socorro com uma função de sobrevivência $V_r(t)$ tal que o factor de segurança mínimo seja garantido pela combinação

$$[1 - V_b(\theta - a)]\,[1 - V_r(a)] \geqslant V(\theta)$$

em que a é o tempo de funcionamento efectivo do equipamento de socorro durante o período θ de referência. Este período depende, não só da segurança própria do equipamento-base (ou seja da sua função de sobrevivência), como também do tempo que em média terá de consumir-se na reparação de qualquer avaria eventual deste equipamento.

Seja portanto b o tempo necessário a uma reparação. Como a probabilidade de avaria do equipamento-base $V_b(\theta)$, o tempo provável de utilização do equipamento de socorro será

$$a = b \,.\, V_b(\theta)$$

Presumindo-se que tanto $V_b(t)$ como $V_r(t)$ são funções decrescentes de t e como a é geralmente bastante menor do que θ, conclui-se não ser, em muitos casos, necessário que o equipamento de reserva tenha um elevado grau de segurança a longo prazo, desde que seja revisto após cada período de utilização efectiva; com efeito, se assim se fizer, a sua probabilidade de sobrevivência manter-se-á sempre em $V_r(a)$, naturalmente próxima de 1. Assim se justifica por exemplo que, em muitos casos, grupos geradores de corrente possam ser satisfatòriamente socorridos por simples baterias. Os princípios já expostos em 1.4, relativamente a sistemas combinados (em série ou paralelo), em particular quanto à aplicação do teorema de Bayes, permitem analisar o comportamento destes sistemas e estudar a forma de satisfazer exigências particulares de segurança através do estabelecimento de dispositivos de reserva e socorro.

3. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DAS CURVAS DE SOBREVIVÊNCIA

Não oferece dificuldade a determinação experimental das funções de sobrevivência quando seja possível observar durante um período suficiente o comportamento de um elevado número de elementos semelhantes. Por observação directa registam-se as idades no momento das avarias, classificando as suas origens; por via indirecta, confrontam-se as respectivas funções de exploração e de aprovisionamento, deduzindo pelo método referido no parágrafo 2.1 as funções de sobrevivência correspondentes.

Como é evidente, porém, a precisão dos resultados dependerá em larga escala do número n de elementos que seja possível observar.

Assim, por exemplo, no caso de uma função do tipo «normal» (desgaste ou fadiga acumulada)

a duração média M virá efectuada de uma dispersão caracterizada como se sabe, pelo erro-padrão.

$$\sigma(M) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

sendo σ o desvio-padrão verdadeiro da população total em causa. Apenas será possível afirmar neste caso que o valor real de M se encontrará definido por $M \pm \sigma(M)$ com 68,3 % de probabilidade, por $M \pm 2\sigma(M)$ com 95,4 % de probabilidade por $M \pm 3\sigma(M)$ com 99,7 %, etc. Nestas condições torna-se necessário conhecer σ, ou pelo menos obter dele uma boa estimativa. No caso da função exponencial, idênticas considerações são aplicáveis à determinação de λ.

O problema complica-se portanto quando não se disponha de suficiente tempo, ou o número de elementos observáveis seja relativamente diminuto. Em especial, quando se deseje extrapolar a partir de observações feitas, para além de períodos de utilização normal das peças, ou quando se trate de avarias caracterizadas por elevada dispersão, torna-se muito pouco provável conseguir obter indicações seguras sobre as funções de sobrevivência a partir dos resultados de ensaios pouco numerosos.

Nestes casos aparecem como particularmente úteis no traçado das curvas de sobrevivência as chamadas «coordenadas de Weibull». Com efeito, notou-se, ao tentar caracterizar o comportamento de órgãos mecânicos sujeitos a ensaios de fadiga, que as respectivas curvas de sobrevivência se ajustavam à expressão:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\theta}\right)^b}$$

em que F(x) é a fracção de peças fracturadas com a idade x.

θ e b são constantes, designada a primeira por «duração característica» e a segunda por «coeficiente angular de Weibull».

Esta expressão pode ainda tomar a forma:

$$\log\left[\log\left(\frac{1}{1-F}\right)\right] = b(\log x - \log\theta)$$

bastante mais conveniente do que a primeira, pois indica uma relação linear entre $\log x$ e $\log\left[\log\left(\frac{1}{1-F}\right)\right]$. Adoptando estas coordenadas, a recta de sobrevivência resultante será de ajustamento relativamente fácil, mesmo que só se disponha de um pequeno número de pontos. Além disso, a apreciação de F(x) — que se pretende tomar como estimativa de V(t) para t = x — e pode ainda melhorar-se nas amostragens reduzidas tomando-a, não como a fracção real de elementos avariados até à idade x, mas como a *mediana ordinal* correspondente. Assim, num ensaio abrangendo apenas 7 peças, à primeira avaria corresponderá uma mediana ordinal de 0,0943, significando que em 50 % dos casos se terão avariado 9,34 % de elementos da população total no momento em que se avarie o primeiro de uma amostra de 7; à 2.ª avaria corresponderá F(x) = 0,2295, à 3.ª será F(x) = = 0,3648..., conforme o indicado nas tabelas da «Função Beta-Incompleta», devidas a Pearson, ou de acordo com a seguinte expressão aproximada:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \frac{j^2[9(n+1-j)-1]^3}{(n+1-j)^2(9j-1)^3}}$$

em que j é o número de ordem da avaria considerada e n o número total de elementos observados.

Pode também ser usada a *média ordinal*, definida simplesmente por $\frac{j}{n+1}$; contudo, dada a assimetria da distribuição em causa, notar-se-ão desvios apreciáveis nos pontos extremos, sobretudo para $n < 20$.

BIBLIOGRAFIA

A. Kaufmann — Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationnelle, Dunod, Paris, 1959.

I. Bazovsky — Reliability - Theory and Practice, Prentice Hall, New York, 1961.

W. Weibull — Fatigue Testing and Analysis of Results, Pergamon Press, New York, 1961.

R. Descamps — Prévision Statistique des Avaries et Calcul des Volants et Rechanges, DOCAERO n.º 41, 1956 et 43, 1957, Ministere de l'Air, Paris.

J. Kelly — Peut'on Justifier l'Entretien Préventif?, Revue Française de Recherche Opérationnelle, n.º 10, 1959, Paris.

B. Rindi — L'Expérience Empyrique pour le Choix d'une Politique d'Exploitation des Moyens de Transport (Une application au parc Diesel des Ch. Fer Italiens), IXe Congrès International des Communications, Genova, 1961.

R. Wiesenberg — Reliability and Life Testing of Automobile Radiators, General Motors Engineering Journal, 3rd Quarter 1962.

L. Johnson — Weibull Plot Predicts Fatigue Life, SAE Journal, September 1962.

CICLO DE CONFERÊNCIAS — Outubro de 1963

O «Centre Scientifique et Technique du Bâtiment» organizará na sua sede — 4, Avenue du Recteur Poincaré, Paris 16e, um ciclo de conferências, e de visitas a estaleiros e a laboratórios, cujo tema será: «As modernas técnicas de construção em França», destinadas a estagiários estrangeiros e a engenheiros franceses dos sectores público e privado.

O ciclo durará 10 semanas: de 7 de Outubro a 20 de Novembro e de 25 de Novembro a 20 de Dezembro de 1963.

As manhãs serão consagradas às conferências e as tardes às visitas a estaleiros e laboratórios.

As 6 primeiras semanas terão o seguinte programa:

1.ª semana — *Generalidades*

Compreendendo as grandes correntes da construção moderna e uma visita aos laboratórios do CSTB.

2.ª semana — *Processos de construção*

Conferências sobre os principais produtores franceses de materiais pré-fabricados e visitas.

3.ª semana — *Processos de construção*

Especialmente consagrada aos betões em massa moldados em obra — «bétons banchés». Conferências e visitas.

4.ª semana — *Processos de construção usando materiais cerâmicos*

Habitações individuais não tradicionais.

5.ª semana — *Fachadas ligeiras*

Aço — Alumínio — Inoxidáveis

Painéis sandwich. Conferências e visitas.

6.ª semana — *Equipamento*

Madeira — Plástico — Canalizações pré-fabricadas

Conferências e visitas.

Interrupção de uma semana para uma viagem de estudo destinada aos estagiários estrangeiros.

1 — *Opção — Construções Modernas*

8.ª semana — Productividade — Coordenação dimensional

9.ª semana — Qualidade

2 — *Opção — Socialogia*

As duas últimas semanas (10 e 11), em conjunto, serão preenchidas por seminários e reservadas aos estagiários estrangeiros.

As pessoas que desejarem inscrever-se devem enviar o nome, profissão e as conferências ou visitas que lhes interessam até 15-9 963.

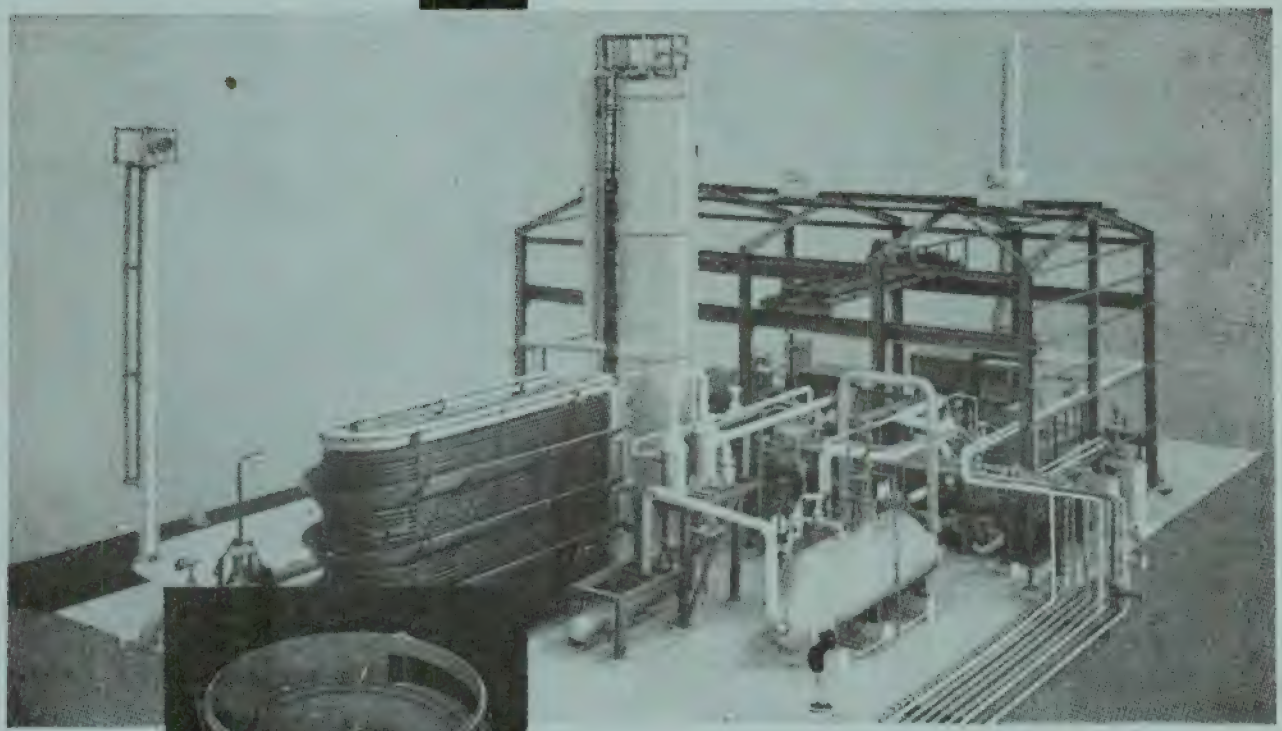
Os valores das inscrições são os seguintes:

Estágio completo	800 F
Semana	140 F
Dia	40 F
1/2 Dia	25 F

e compreendem o envio dos textos das conferências e os transportes.

CENTRO DE PROJECTOS

COLOCA A SUA EXPERIÊNCIA AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA NACIONAL



MODELO DE INSTALAÇÃO EXECUTADO A PEDIDO DO CLIENTE

MODELO DE TANQUE DE TECTO FLUTUANTE

CONSTRUÇÃO DE MODELOS REDUZIDOS

O CENTRO DE PROJECTOS CONSTRÓI MODELOS DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS, QUER PARA REALIZAÇÕES A SEU CARGO QUER A PEDIDO DE CLIENTES COM BASE EM DESENHOS QUE LHE SEJAM FORNECIDOS.

OS MODELOS REDUZIDOS

- FACILITAM O ESTUDO DA INSTALAÇÃO
- TORNAM MAIS FÁCIL E RÁPIDA A SUA MONTAGEM
- POSSIBILITAM A INSTRUÇÃO DO PESSOAL ENCARREGADO DA CONDUÇÃO DA FÁBRICA. SÃO DE GRANDE UTILIDADE NA PLANIFICAÇÃO DA MONTAGEM DA INSTALAÇÃO

EXPONHA OS SEUS PROBLEMAS E DIRIJA AS SUAS CONSULTAS A **CENTRO DE PROJECTOS CUF** AV. 24 DE JULHO, 170 TELEF. 67 20 61 LISBOA - PORTUGAL TELEG. PROFABRIL CP-3

ESTAMPARIAS TINTURARIAS LAVANDARIAS

PARA OS VOSSOS TECIDOS TECNICOS:
TRANSPORTADORES MANKONS, LAPPING, WOLFRIES.
FLANELAS, CANEVAS, ETC.,

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

Consultem:

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FLUIDO E MASTIC

IMPERMEABILIZAÇÕES

TORNA TUDO ESTANQUE

Impermeabilização e vedação perfeita de:

Terraços, Empenas, Algerozes, Clarabóias, Paredes húmidas, Coberturas, Fendas, Juntas de dilatação, etc., etc.

Fácil aplicação — Elasticidade excepcional
Não endurece nem apodrece

ROOFATEX **À base de borracha + alumínio**

Reforça a acção impermeabilizante do «Rubio», dando às construções um aspecto agradável — Protege todos os materiais contra a humidade, a ferrugem e a corrosão

RUBIO E ROOFATEX dois produtos que se completam

Representante exclusivo: Orlando Fernandes

Rua Palmira, 46-A-B-C — LISBOA-1 — Telefs. 83 01 63 - 84 26 39 — End. teleg. «ORFER»

C. D. U. 621.313.013.001

APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS ANALOGIAS ELÉCTRICAS AO ESTUDO DE ALGUNS PROBLEMAS RELATIVOS AO CAMPO MAGNÉTICO DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

PELO ENG.º ELECT. (I.S.T.) CARLOS DE MEDEIROS PORTELA

Assistente do I. S. T.

(Continuação)

CAPÍTULO III

Aplicação do método das analogias eléctricas à determinação do campo magnético das máquinas eléctricas com o fim de calcular com relativo rigor o seu comportamento em regime permanente e perturbado

I Introdução

É da maior importância o conhecimento, com relativa precisão, do campo magnético das máquinas eléctricas de corrente alternada, nomeadamente dos alternadores, ou, o que é o mesmo, o conhecimento das diversas reactâncias (1) que permitem ter em conta esse campo magnético.

Em primeiro lugar, o conhecimento do campo magnético é um elemento fundamental no dimensionamento de toda a máquina, designadamente no que respeita ao circuito indutor; em segundo lugar, as reactâncias influem de maneira importantíssima no funcionamento estacionário e transitório, sendo elemento determinante das condições de curto circuito e de estabilidade das redes eléctricas.

As melhores condições de preço levam normalmente a valores das reactâncias que não são os mais convenientes para o funcionamento das máquinas, o que acarreta frequentemente aumentos apreciáveis de custo em relação às condições de preço mínimo. Assim, uma redução da reactância síncrona longitudinal de cerca de 50 % e da reactância transitória de cerca de 25 % conduz a um aumento de custo da máquina da ordem de 25 % (2).

Ora os processos de cálculo correntemente usados conduzem a valores pouco aproximados e afectados de apreciáveis margens de erro.

A determinação das reactâncias ou de quaisquer outras grandezas relacionadas com o comportamento electromagnético das máquinas reduz-se, evidentemente, à determinação de campos electromagnéticos quase estacionários, pelo que a utilização de campos eléctricos análogos pode permitir um cálculo bastante aproximado. Esse cálculo será apreciàvelmente simplificado naqueles casos em que os campos em estudo se possam reduzir a duas dimensões.

Antes de estudar a aplicação do método das analogias eléctricas ao estudo do campo magnético das máquinas eléctricas, convém analisar o comportamento de um meio isótropo não linear em face de uma perturbação incremental de um campo vectorial.

---

(1) Como é óbvio, referimo-nos às reactâncias consideradas não como constantes da máquina, mas como parâmetros dependentes de diversas variáveis.

(2) Referências bibliográficas nºs [24] e [53].

2 Comportamento de um meio isótropo não linear em face de uma perturbação incremental de um campo vectorial

Interessa conhecer os coeficientes de indução diferenciais, isto é, tais que

$$205) \quad L = \frac{\partial \Phi}{\partial i} \text{ (1)} .$$

Por outro lado convém, por vezes, estudar o campo magnético pelo método das perturbações, decompondo-o num campo associado a parte das correntes em jogo e em campos tratados como perturbações do campo anterior.

Há portanto que analisar o comportamento de um material com saturação, caracterizado por uma relação

$$206) \quad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H} ,$$

em face de um acréscimo $\Delta \mathbf{H}$ de $\mathbf{H}$, de direcção em geral diferente da de $\mathbf{H}$, e a que corresponde um acréscimo $\Delta \mathbf{B}$ de $\mathbf{B}$.

Seja então um campo vectorial caracterizado por dois vectores $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$, e suponhamos que para efeitos deste campo, o meio é isótropo, sendo caracterizado por uma relação entre $\mathbf{X}$ e $\mathbf{Y}$ da forma

$$207) \quad \mathbf{X} = \beta \mathbf{Y}$$

$$208) \quad f(X, Y) = 0 ,$$

sendo f função contínua e eventualmente diferente de ponto para ponto.

Considere-se um estado do campo $\mathbf{X}_a$, $\mathbf{Y}_a$ (e β_a) «sem perturbação».

Tem-se

$$209) \quad \mathbf{X}_a = \beta_a \mathbf{Y}_a ,$$

satisfazendo X_a, Y_a à relação (208) (figs. 72 e 73).

Considere-se uma pequena perturbação do campo anterior, correspondendo-lhes os valores $\mathbf{X}$, $\mathbf{Y}$ (e β), dos campos (figs. 72 e 73).

Tem-se

$$210) \quad \mathbf{X} = \beta \mathbf{Y} ,$$

satisfazendo X, Y à relação (208).

Seja

$$211) \quad \mathbf{X} = \mathbf{X}_a + \Delta \mathbf{X}$$

$$212) \quad \mathbf{Y} = \mathbf{Y}_a + \Delta \mathbf{Y} ,$$

em que

$$213) \quad |\Delta \mathbf{X}| << X_a$$

$$214) \quad |\Delta \mathbf{Y}| << Y_a .$$

---

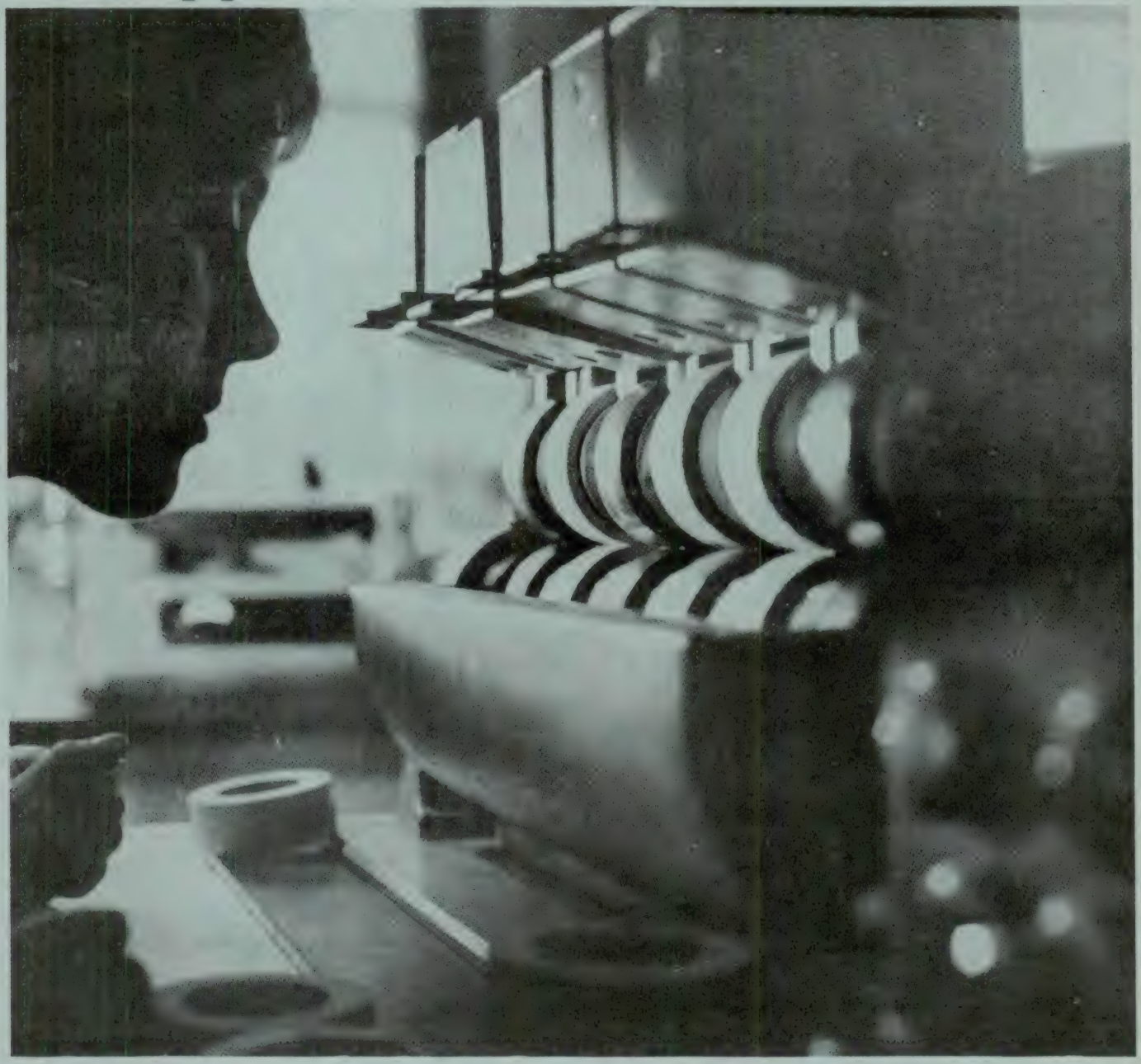
(1) Trata-se de uma derivada parcial, considerando determinados parâmetros constantes. Esses parâmetros são, usualmente, ou outras correntes ou parâmetros geométricos.

® Perbunan C - resistente aos óleos e aos agentes químicos

Artigos fabricados da borracha de cloroprene, Perbunan C, distinguem-se por uma combinação favorável de propriedades tecnicamente valiosas. São resistentes aos óleos e aos agentes químicos, evitam a chama e resistem ao calor assim como às intempéries e ao ozono, e têm boas propriedades mecânicas.

O Perbunan C é especialmente apropriado para a fabricação de bainhas de cabos eléctricos e isolamentos para corrente de baixa tensão, artigos técnicos moldados, para a construção de automóveis, de vagões e de máquinas, para perfis de vedação, mangueiras, correias de transporte, rolos, para a impregnação e o revestimento de tecidos, para solas e para colas.

PERBUNAN C o Cloroprene da BAYER



Representante em Portugal:
S.A.R.L. QUIMICOR
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3
Tel. 555496 e 555893
Porto: Rua de Santos Pousada, 441
Tel 54141

2498

perbunan® c

1863 BAYER 1963

Plásticos Bayer - símbolo de qualidade

Termoplásticos

®MAKROLON, policarbonato com numerosas e excelentes qualidades: resistência mecânica a altas e a baixas temperaturas – resistência ao calor até 135 C. e ao frio até 100 C. negativos, boas propriedades eléctricas, práticamente constantes até cerca de 140 C., estabilidade dimensional invulgar.

®CELLIDOR, acetato de celulose e aceto-butirato de celulose de elevada tenacidade, agradável ao tacto e de brilho excelente.

®DURETHAN BK, poliamida (Nylon 6) de elevada tenacidade, extraordinária resistência ao atrito e boas propriedades de deslise.

®NOVODUR, polimerizado ABS (= acrilnitrilo-butadieno-estireno), de elevada tenacidade, boa resistência à deformação e excelentes qualidades de estampagem a fundo.

Duroplásticos

®LEGUVAL, resinas de poliéster não saturadas.

®LEKUTHERM, resinas epoxídicas.

Materiais elásticos

®VULKOLLAN, elastómeros de poliuretano

Materiais esponjosos

®MOLTOPREN, poliuretanos reticulados, à base de poliésteres e de poliéteres.

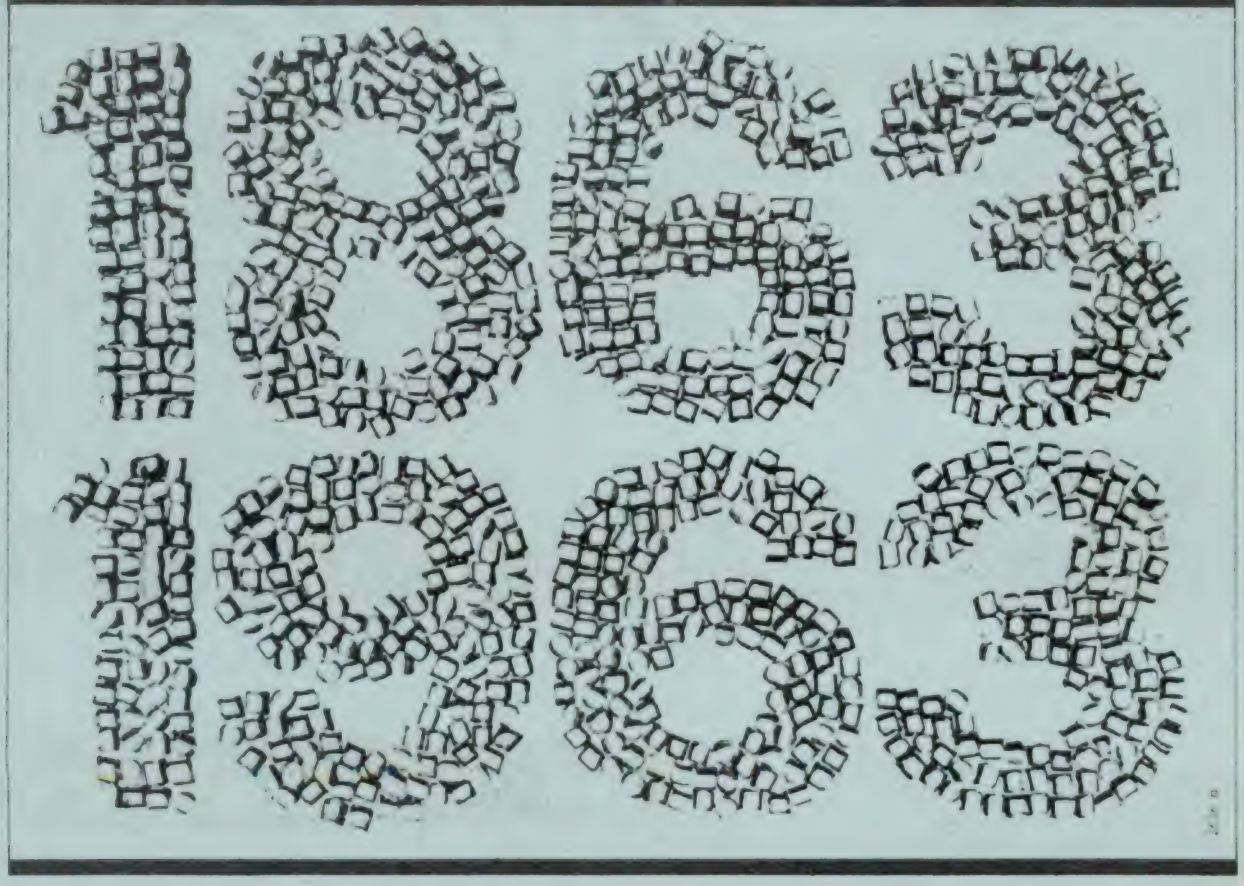
Na Feira dos Plásticos em Duesseldorf, de 12 a 20 de Outubro de 1963, damos uma visão da nossa capacidade de produção. Pode falar connosco sobre plásticos, no Pavilhão E/rés-do-chão, assim como no stande ao ar livre, em frente do Pavilhão E. No Pavilhão F 1 damos informações sobre borracha sintética. Teremos muito prazer em receber a sua visita, que gostosamente aguardamos.

S.A.R.L. QUIMICOR,
Representante em Portugal

Lisboa:
Rua Sociedade Farmacêutica, 3,
Tel. 555496 e 555893

Porto:
Rua de Santos Pousada, 441,
Tel. 54141

1863 BAYER 1963



Seja ainda

$$215) \quad \Delta \mathbf{X} = \Delta \mathbf{X}_l + \Delta \mathbf{X}_n$$

$$216) \quad \Delta \mathbf{Y} = \Delta \mathbf{Y}_l + \Delta \mathbf{Y}_n$$

sendo $\Delta \mathbf{X}_l$, $\Delta \mathbf{X}_n$ e $\Delta \mathbf{Y}_l$, $\Delta \mathbf{Y}_n$, respectivamente, paralelos e ortogonois a $\mathbf{X}_a$ (ou $\mathbf{Y}_a$).

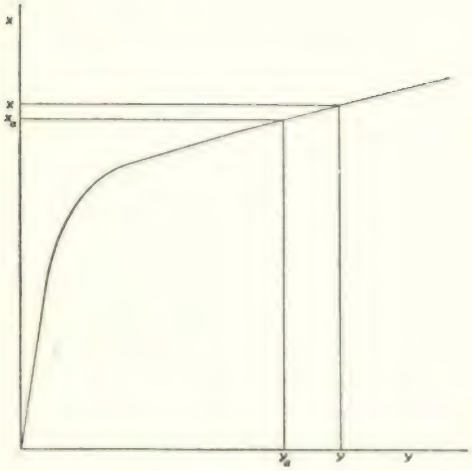


Fig. 72

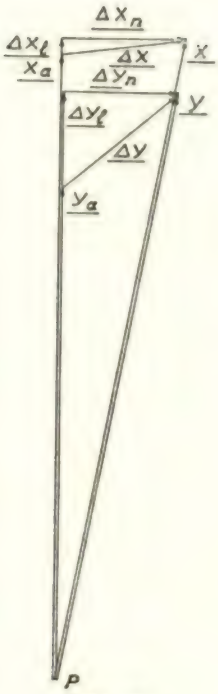


Fig. 73

Seja

$$217) \quad \beta_i = \frac{dX}{dY} .$$

A menos termos de segunda ordem, tem-se

$$218) \quad \Delta \mathbf{X}_l \cong \beta_i \, \Delta \mathbf{Y}_l$$

$$219) \quad \Delta \mathbf{X}_n \cong \beta_a \, \Delta \mathbf{Y}_n .$$

Tem-se portanto, que para efeitos de uma pequena variação, $\Delta \mathbf{X}$, $\Delta \mathbf{Y}$ do campo vectorial, o meio isótropo não linear se comporta como um meio anisótropo linear, caracterizado por um tensor $\overline{\beta}$ simétrico, tal que:

a) Uma das direcções principais (1) do tensor $\overline{\beta}$ é paralela ao campo anterior à perturbação. Designemos essa direcção por x.
b) A camponente do tensor $\overline{\beta}$ segundo x é β_i.
c) A camponente do tensor $\overline{\beta}$ segundo dois eixos quaisquer ortogonais a x e ortogonais entre si, é β_a.

Considere-se o caso de um campo magnético **B**, **H**, num meio isótropo.

---

(1) Direcções tais que, expressa nessas direcções, a matriz associada a $\overline{\beta}$ é diagonal.

Este campo está nas condições do campo **X**, **Y**, fazendo

$$220) \quad \mathbf{X} = \mathbf{B}$$

$$221) \quad \mathbf{Y} = \mathbf{H}$$

$$222) \quad \beta = \mu = \frac{B}{H}$$

$$223) \quad \mu_i = \frac{dB}{dH} \; .$$

Seja uma pequena perturbação de um campo magnético. Tem-se que, para efeitos dessa perturbação, o ferro se comporta (diferencialmente) como um meio cuja permeabilidade na direcção do campo na ausência da perturbação fosse μ_i e em direcções ortogonais a esta fosse μ.

3 Aplicação do método das analogias eléctricas à determinação do campo magnético das máquinas eléctricas.

Para efeito da aplicação do método das analogias eléctricas à determinação do campo magnético das máquinas eléctricas, designadamente dos alternadores, há dois grupos de problemas que convém sejam tratados de formas algo diversas:

a) O primeiro é o estudo do campo na zona entre os polos, em que o campo é relativamente pouco intenso e em que se pode despresar a saturação do ferro;

b) O segundo é o campo na região do entreferro, cavas e dentes, em que a influência da saturação é decisiva.

Especialmente o campo indicado em (*b*) pode, à excepção de algumas pequenas zonas, ser considerado a duas dimensões.

O mesmo acontece em muitos casos em relação ao campo indicado em (*a*).

O campo indicado em (*a*) pode ser estudado não tendo em conta a saturação do ferro. Tem uma configuração geométrica complexa. Por outro lado, tem uma importância relativa menor que o campo indicado em (*b*), o que exige menor precisão na sua determinação. É especialmente indicado o uso de papel condutor.

O campo indicado em (*b*) é muito influenciado pela saturação do ferro. Por outro lado, com algumas hipóteses simplificativas que não alteram significativamente os resultados obtidos, a zona a estudar para efeitos de determinação do campo pode ser reduzida a uma configuração geométrica relativamente simples. Além disso deve ser determinado com o possível rigor. Nestas condições é adequada a representação em analogias eléctricas por meio de redes de resistências, com um número de malhas quanto possível elevado.

Para analisar com um pouco mais de pormenor a possibilidade prática de aplicação do método das analogias eléctricas, considerou-se o caso de um alternador de polos salientes com as seguintes características:

Número de polos	6
Número de cavas	90

Cavas rectangulares

Relação entre a largura dos dentes no topo e a largura das cavas	1
Relação entre a profundidade e a largura das cavas	3
Relação entre a largura das cavas e a espessura do entreferro	4,5

Restantes dimensões (relativas) de uma secção ortogonal ao eixo conforme indicado na fig. 74.

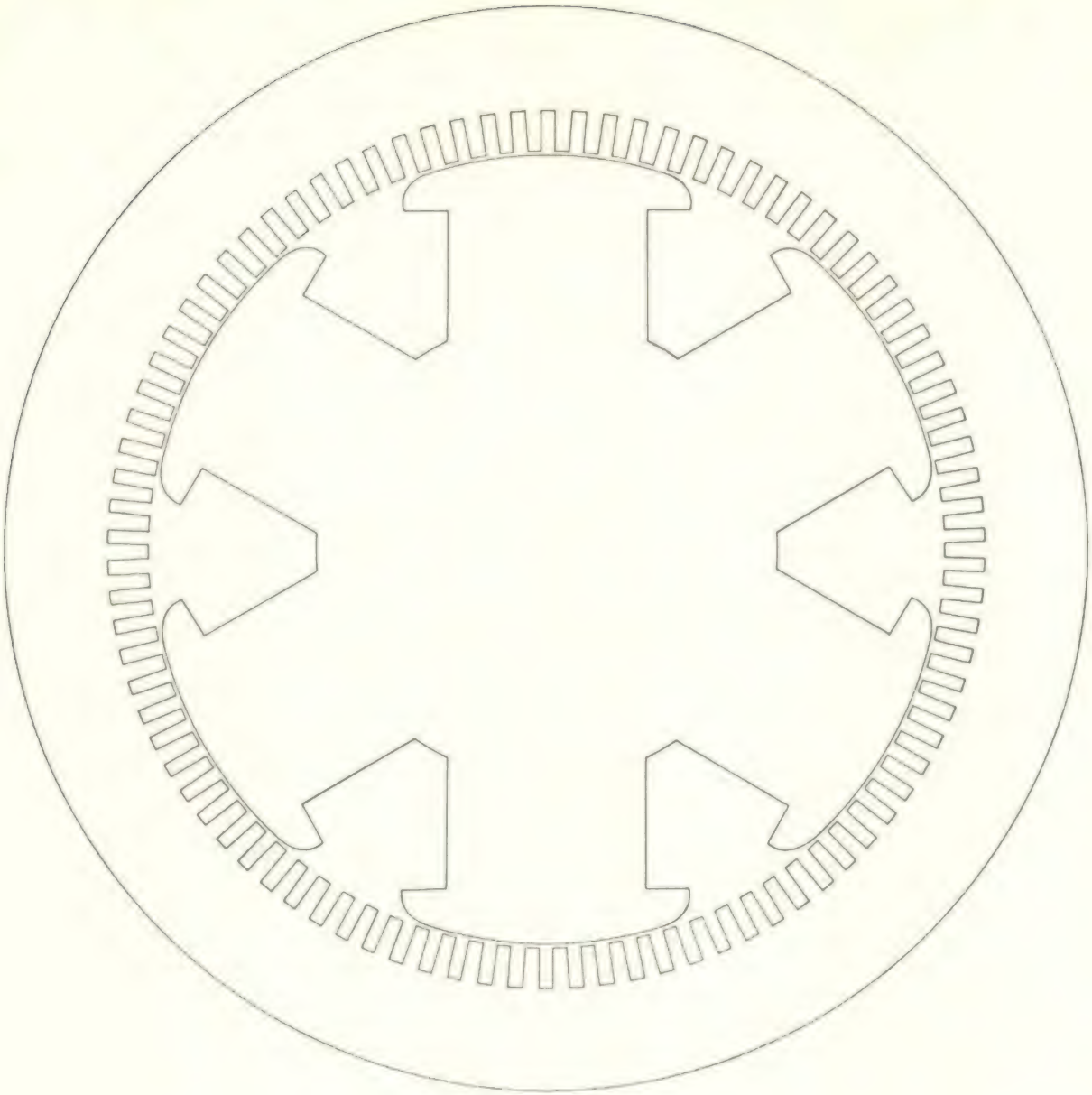


Fig. 74

Não nos foi possível, dadas as condições experimentais de que dispunhamos, fazer o estudo sistemático destes campos. Pretendemos apenas, ao estudar um caso, analisar as possibilidades e interesse do método, designadamente no que respeita ao efeito de saturação magnética. Parece-nos que se justifica a adopção do método exposto naqueles casos em que interesse a determinação prévia das características das máquinas com o possível rigor.

Fizemos, além disso, ùnicamente o estudo de campos planos. Àparte uma maior extensão de equipamento experimental, os métodos que expomos são, na maior parte dos casos, fàcilmente generalizáveis ao estudo de campos a três dimensões.

Em 7 analisamos sumàriamente a forma de, a partir dos valores locais obtidos pelos métodos expostos, calcular relações globais que permitam determinar o comportamento das máquinas eléctricas.

4 Estudo do campo magnético na zona entre os polos, sem ter em conta a saturação do ferro

4.1 *Decomposição do campo, para efeito da sua determinação experimental*

O campo magnético nesta zona da máquina, naqueles troços em que se possa considerar um campo a duas dimensões e se possa desprezar a saturação do ferro, é aditivo.

Pode ser obtido, portanto, a partir do conhecimento dos seguintes três tipos de campos:

a) O associado às correntes no indutor;
b) O associado às correntes no induzido debaixo dos polos (ou entre outros polos que não aqueles em cuja vizinhança se estude o campo em causa, na hipótese de o campo não ser periódico de período por exemplo igual a dois passos polares);
c) O associado às correntes no induzido na zona entre polos.

Estando a zona em estudo circunscrita à zona entre polos, tem-se que:

1.º — O campo (*b*), pode ser tratado como um campo irrotacional a que sejam impostas adequadas condições nos limites. Pode, portanto, ser tratado de forma bastante simples, em analogia directa ou em analogia inversa.
2.º — Os campos (*a*) e (*c*), são rotacionais. É portanto indicada a utilização da analogia inversa.

4.2 *Campo associado às correntes no indutor*

4.2.1 *Método experimental*

Consideremos o campo associado às correntes no indutor na zona entre polos e suponhamos — o que não afecta significativamente as conclusões dos resultados obtidos e simplifica os modelos — que a posição dos dentes e cavas é simétrica em relação ao plano médio entre polos.

O campo tem, qualitativamente, a configuração representada na fig. 75 por algumas linhas de força.

O campo é antisimétrico em relação ao plano meridiano médio entre os polos, sendo este plano meridiano ortogonal às linhas de força do campo magnético.

As superfícies dos polos e do ferro do induzido são também (aproximadamente) ortogonais às linhas de força.

No eixo de um dente (AB na fig. 75), na zona de entreferro uniforme, o campo será muito aproximadamente radial, sendo desprezável, para efeitos do campo na zona entre polos, o erro resultante de supor que AB é um plano de linhas de força.

Nestas condições o modelo pode figurar simplesmente o domínio (A B C D A).

Na representação inversa AB será uma equipotencial (linha delimitada com tinta condutora no modelo de papel condutor) e B C, C D e D A serão linhas de força (linhas não delimitadas com tinta condutora no modelo).

As correntes no indutor serão representadas pela introdução no modelo de correntes, proporcionais às correntes indutoras que representam.

Num modelo constituído por redes de resistências, a introdução de correntes é feita normalmente nos nós da rede. Num modelo de papel condutor o problema é mais delicado, pois a introdução de correntes tem de ser feita através de eléctrodos, o que vai alterar a condutividade do papel.

Para a injecção de correntes usaram-se eléctrodos construídos com agulhas metálicas que eram apertadas de encontro ao papel condutor, por intermédio de tinta condutora, assegurando-se assim um bom contacto (fig. 76).

O eléctrodo é ligado ao exterior por um fio flexível que é fixado em diversos pontos por forma que, após a secagem da tinta condutora, o eléctrodo se mantenha em posição inalterada.

Fig. 75

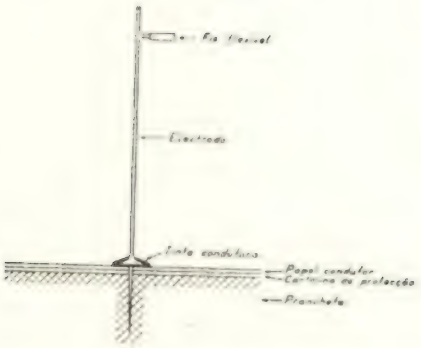


Fig. 76

A representação de correntes que correspondam a zonas extensas do modelo, como por exemplo de correntes indutoras, foi feita através de vários eléctrodos representando cada um uma zona restri'a das correntes. Por meio desses eléctrodos foi introduzida no modelo uma corrente proporcional às correntes que os eléctrodos representavam.

Na escolha do número de eléctrodos há que procurar uma solução intermédia: por um lado as correntes representadas por cada um devem referir-se a zonas do modelo tanto quanto possível pequenas; por outro lado a distância entre eléctrodos deve ser quanto possível elevada em relação às suas dimensões.

No exemplo em estudo (fig. 77) supôs-se que as correntes indutoras tinham uma distribuição uniforme no domínio [E F G H I]. Dividiu-se este domínio em 10 zonas de igual área, sendo representada, no modelo, cada uma destas zonas por um eléctrodo colocado no seu centro de gravidade (fig. 78 e fot. 5 e 6).

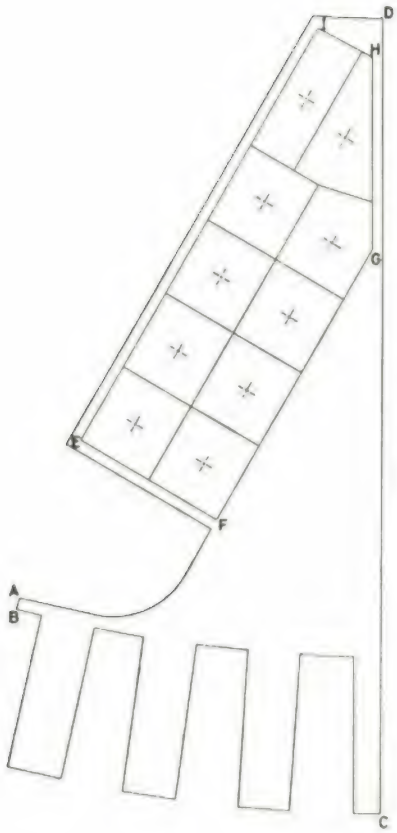


Fig. 77

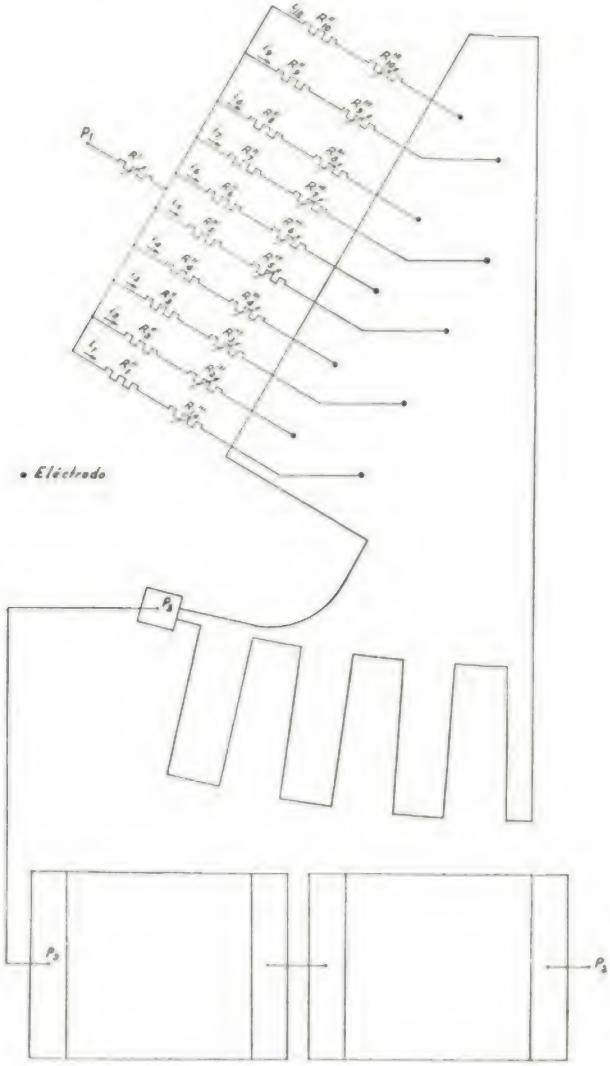


Fig. 78

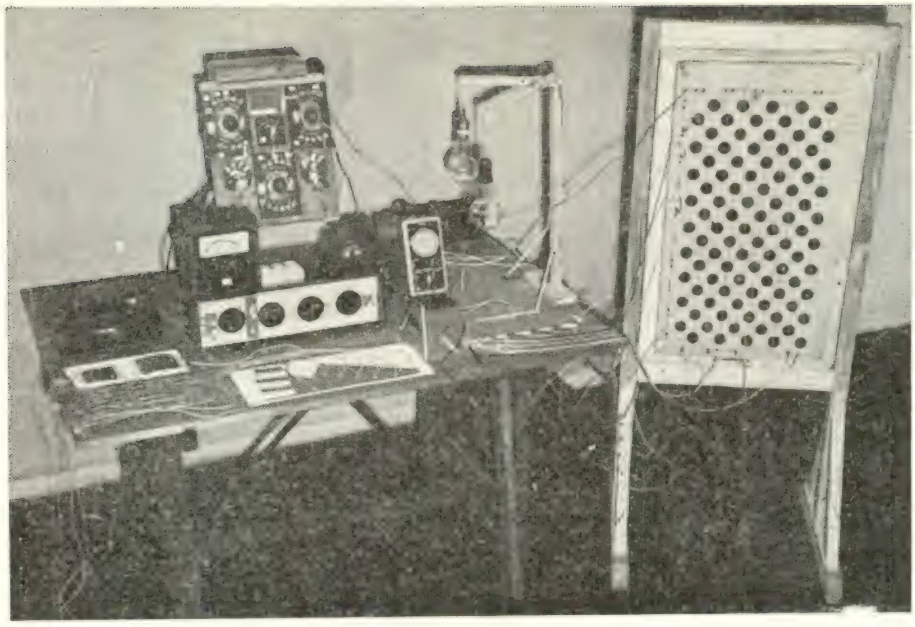
Em série com o eléctrodo P_3 foram colocados dois padrões de papel condutor constituídos por um quadrado de lados iguais, por forma a determinar com facilidade a relação entre a tensão entre dois pontos do modelo e o fluxo que, na máquina, corresponde ao tubo de força definido por esses dois pontos do modelo.

Usaram-se dois padrões, escolhidos de zonas distintas do papel e com diferentes orientações, por forma a diminuir os erros resultantes da anisotropia e heterogeneidade do papel condutor.

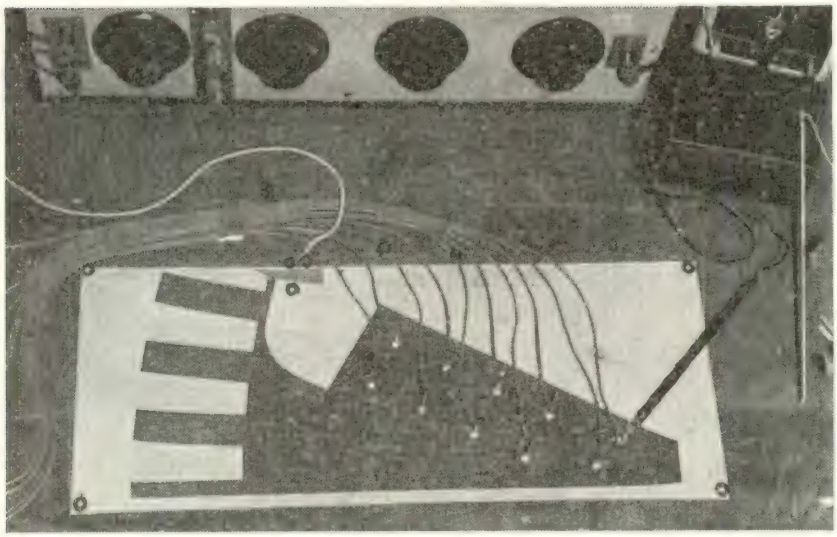
Usou-se o esquema de ligações indicado na fig. 78, com uma montagem semelhante à descrita no Cap. II, 3.

Aplicou-se uma tensão alternada sinusoidal entre P_1 e P_2, que se ligaram aos terminais extremos dum potenciómetro.

Os potenciais relativos de um ponto do modelo são determinados variando o ponto médio do potenciómetro até obter o anulamento da tensão entre esse ponto médio e o ponto do modelo em



Fot. 5



Fot. 6

causa (ligado ao instrumento de zero por intermédio de uma lapiseira). Como instrumento de zero utilizou-se um osciloscópio.

A tensão cujo anulamento se pretendia verificar era aplicado aos terminais do osciloscópio correspondentes à componente vertical do movimento do feixe electrónico. Aos terminais correspondentes à componente horizontal do movimento do feixe, aplicou-se uma tensão proporcional à aplicada ao modelo. A imagem luminosa no osciloscópio comporta-se assim como ponteiro luminoso de inércia pràticamente desprezável.

As resistências R'' foram medidas com precisão e eram da mesma ordem de grandeza.

Primeiramente ajustaram-se, por aproximações sucessivas, as resistências R_2''', R_3'', . . . , R_{10}''', por forma que as correntes i_1, i_2 . . . i_{10} fossem iguais. Estas correntes foram determinadas medindo os potenciais nos terminais das resistências R''.

As diferenças entre as correntes nos eléctrodos, após a última aproximação efectuada, eram da ordem de 0,5 %, sendo os desvios máximos inferiores a 1 % do valor médio (0,1 % da corrente total).

Procedeu-se seguidamente ao ajuste de R' por forma que a diferença entre os potenciais de P_2 e P_3 fosse 0,1000 da tensão entre P_1 e P_2.

Utilizando a lapiseira ligada ao instrumento de zero traçaram-se várias equipotenciais no modelo de papel condutor, por forma a definir o campo eléctrico.

Sendo a tensão entre P_1 e P_2, 0,1, o fluxo de um tubo de força do campo magnético definido por dois pontos quaisquer Q_1 e Q_2 do modelo será dado por

$$224) \quad \Phi_{Q_1 Q_2} = 4\pi \cdot f_{mm} \cdot l \cdot [(V(Q_2) - V(Q_1)] ,$$

sendo:

- l — o comprimento paralelamente ao eixo da parte da máquina em que seja válida a representação do campo a duas dimensões, em centímetro;
- $\Phi_{Q_1 Q_2}$ — o fluxo definido pelos pontos Q_1 e Q_2 e pelo comprimento l, em maxwell;
- f_{mm} — o dobro do fluxo das correntes no indutor através da zona representada no modelo (1), em ampere;
- $V(Q_2)$ — o potencial, no modelo, do ponto Q_2, em valor relativo (2);
- $V(Q_1)$ — o potencial, no modelo, do ponto Q_1, em valor relativo (2).

Na fig. 79 representa-se por várias equipotenciais, o campo obtido no modelo. Aos valores indicados nesta figura é aplicável a expressão (224).

4.2.2 *Fluxo através do induzido*

Representemos por Φ_d os fluxos através dos dentes figurados no modelo, definidos entre os eixos das cavas no fundo da cava e por D a distância angular do eixo de um dente ao eixo entre polos, medida no passo dos dentes. Tem-se, de acordo com os valores obtidos experimentalmente:

D	ΔV	$\frac{\Phi_d}{f_{mm} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
0,5	0,008 (6)	0,11
1,5	0,045 (0)	0,56
2,5	0,223 (1)	2,93
3,5 (3) (metade)	0,155 (5)	1,95 (3)
3,5 (total)		1,95 + 2,18 (4) = 4,13

Debaixo dos polos na zona de entreferro uniforme, tem-se, com a notação definida no Capítulo II, em 2:

$$225) \quad \alpha' = \frac{\frac{b}{d}}{5 + \frac{b}{d}} = 0,474$$

(1) Fluxo do vector densidade de corrente correspondente à força magnetomotriz por par de polos.

(2) Considerando unitária a tensão entre os terminais do potenciómetro.

(3) Fluxo através da metade do dente representada no modelo.

(4) Metade do valor indicado na expressão 227).

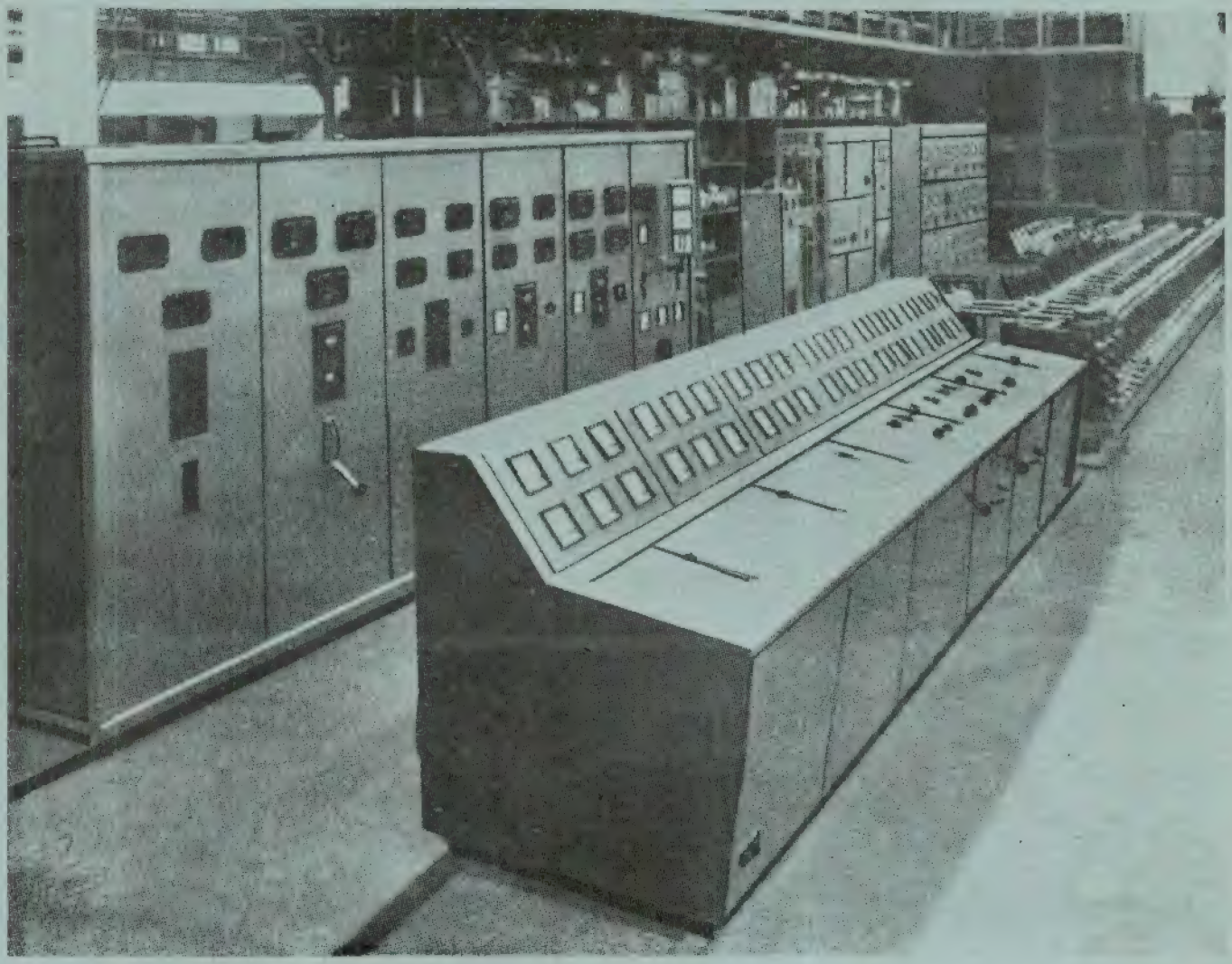
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743

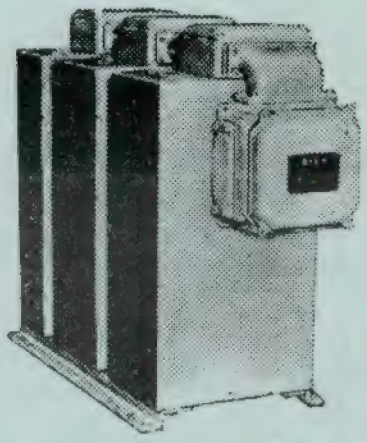


Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

CONDENSADORES **ASEA**

PARA MELHORAMENTO DO FACTOR DE POTÊNCIA



Bateria de condensadores tipo CLB, 32 kVAr

SE PAGA POR CONSUMO DE ENERGIA REACTIVA...

SE A SUA INSTALAÇÃO ELÉCTRICA ESTÁ SOBRECARREGADA...

...consulte:

ASEA ELÉCTRICA L.DA

SEDE EM LISBOA
R. DE ARTILHARIA UM, 104,4º-Dº
Telefone P.P.C. — 68 90 17/8/9

END. TELEG.
ASEAPORT

FILIAL NO PORTO
R. DO CAMPO ALEGRE, 144
Telefone P.P.C. — 6 21 06/7

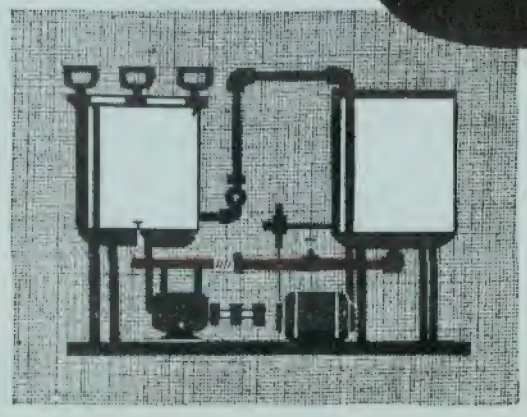
filtros

FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açúcar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria química

FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO



Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

Dezenas de instalações a funcionar no país atestam a sua excelente qualidade.

RUA CAPITÃO FILIPE DE SOUSA, 128
CALDAS DA RAINHA

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

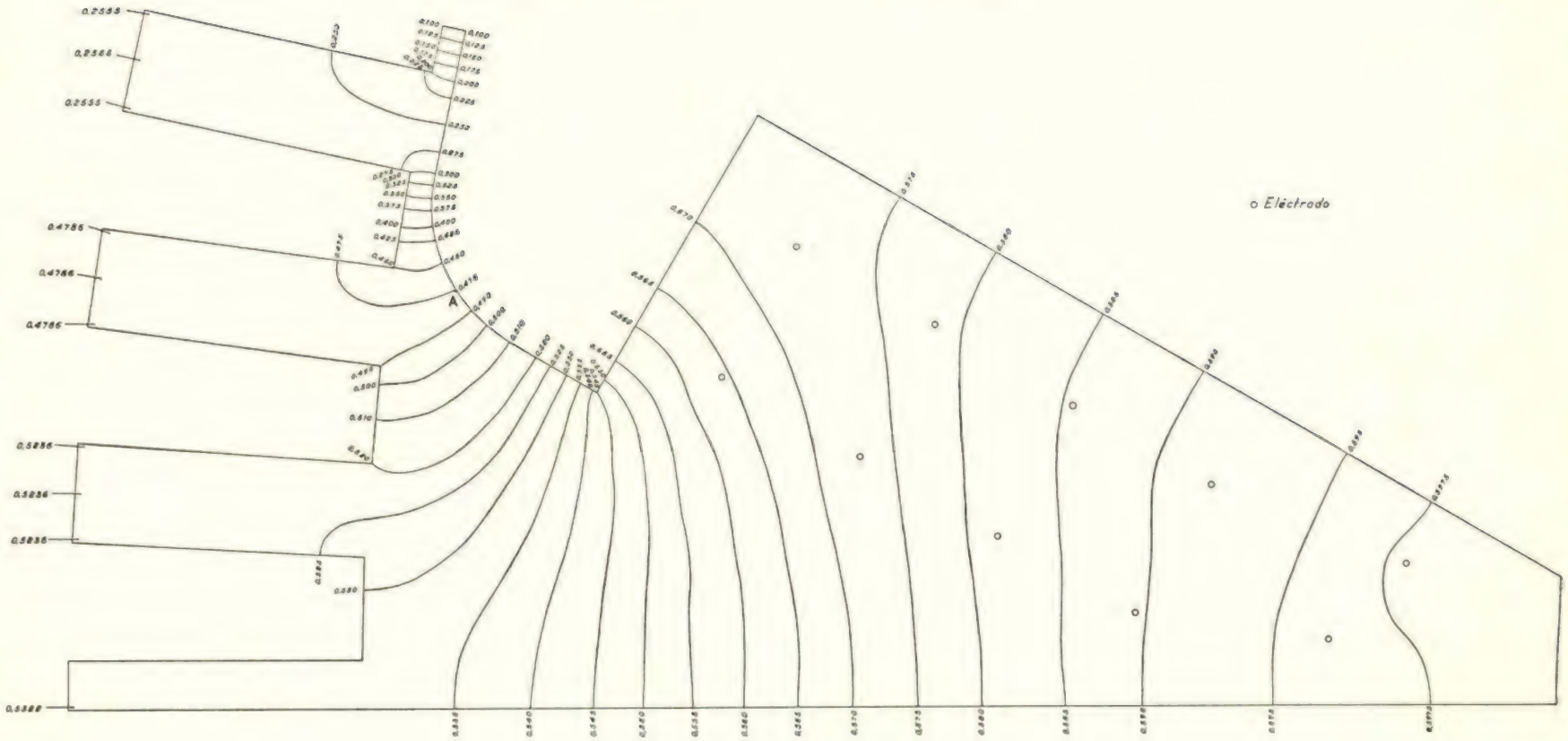


Fig. 79

226) $\Gamma_o = 1{,}291$.

Para os dentes situados debaixo dos polos, na zona de entreferro uniforme, tem-se, portanto, na hipótese de se desprezar a saturação:

$$227) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mm} \cdot l} = 4{,}36 \quad \text{maxwell A}^{-1}\,\text{cm}^{-1} \quad .$$

Na fig. 80 representa-se a função

$$228) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mm} \cdot l} = f\,(D) \ ,$$

obtida a partir da tabela anterior.

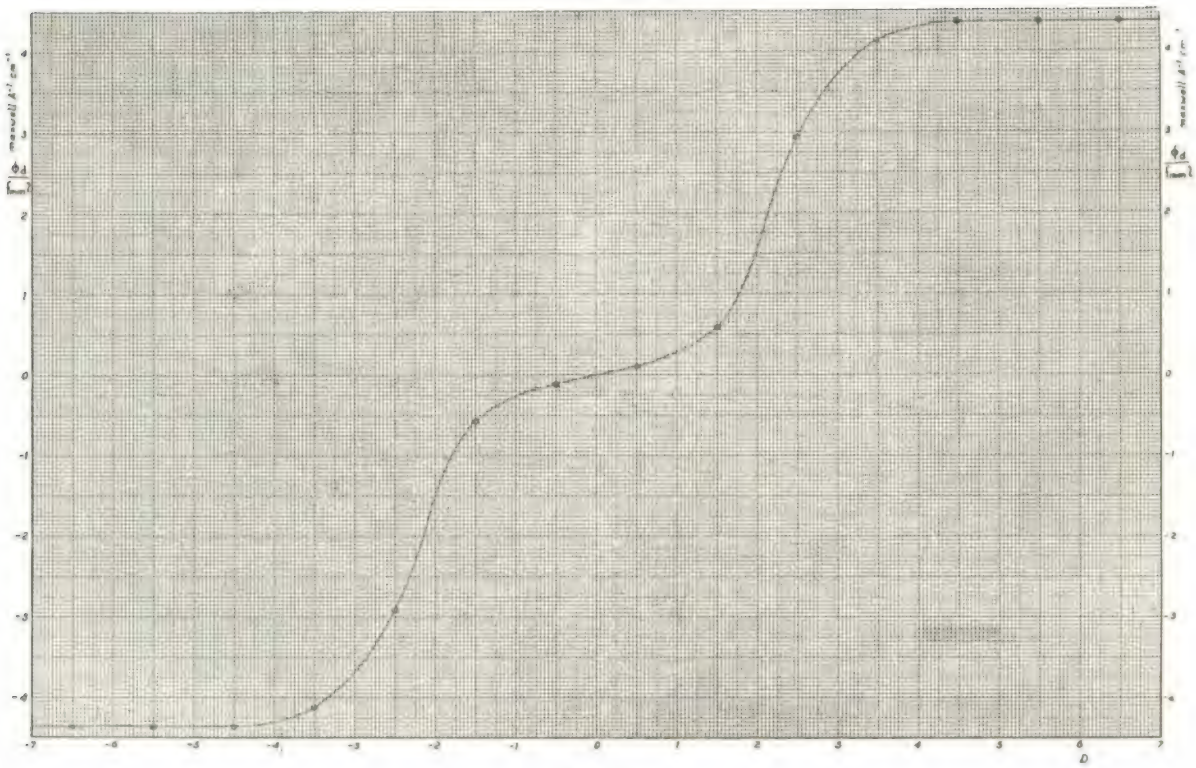


Fig. 8o

4.2.3 *Fluxo através das bobinas indutoras, na zona entre polos, associado às correntes no indutor*

É de interesse definir o fluxo através das bobinas indutoras, na zona entre polos, associado às correntes no indutor e que, evidentemente, pode ser obtido pelo método exposto.

Para que este fluxo possa ser composto com o fluxo na zona debaixo dos polos convém definir pontos de «separação» dos dois fluxos. O primeiro dos fluxos referidos, na zona entre polos, é aditivo. Para o cálculo do segundo há que ter em conta a saturação.

Para ponto de separação das «zonas» indicadas, considerou-se o ponto representado por A na fig. 79.

Seja

V(A) o valor do potencial no ponto A;

V_M o valor médio do potencial no domínio correspondente às bobinas indutoras;

Φ_{MA} o fluxo médio através das bobinas indutoras, referido ao ponto A, na zona da máquina em que o campo é tratado a duas dimensões, zona essa definida por dois planos à distância l (em centímetro);

f_{mm} o dobro do fluxo das correntes indutoras através da zona representada no modelo, em ampere.

Tem-se

$$229) \quad \frac{\Phi_{MA}}{f_{mm} \cdot l} = 4\pi \, [\, V_M - V(A) \,] \, .$$

De acordo com os resultados experimentais obtidos tem-se

$$230) \quad \frac{\Phi_{MA}}{f_{mm} \cdot l} = 1{,}34 \text{ maxwell A}^{-1} \text{ cm}^{-1} \, .$$

4.3 *Campo na zona entre polos associado às correntes no induzido debaixo dos polos*

O campo que na zona entre polos corresponde a estas correntes pode ser estudado de maneira bastante simples, restringindo o modelo à zona entre polos.

Nestas condições o campo nessa zona é irrotacional e a superfície dos polos e do ferro do induzido são (aproximadamente) equipotenciais.

Com erro absolutamente desprezável no campo na zona entre polos, o campo no entreferro, no eixo dos dentes, na zona do entreferro uniforme, pode supor-se radial.

Considerando, para simplificação do modelo, uma posição dos dentes simétrica em relação ao plano meridiano médio entre polos, este plano meridiano será um plano de simetria do campo e será um plano de linhas de força.

Nestas condições o modelo deste campo restringe-se ao domínio [A B C D A] (fig. 81).

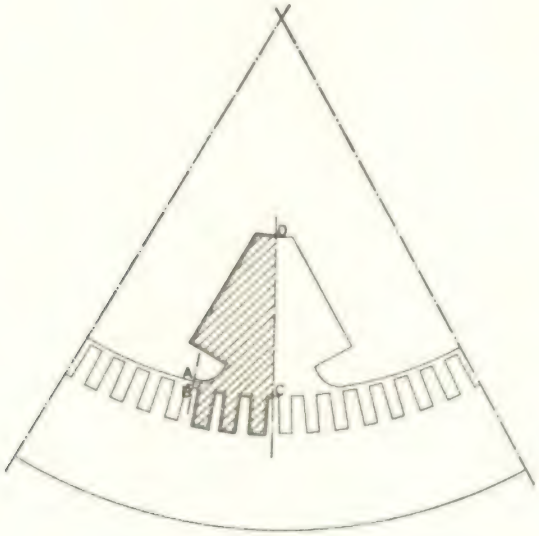


Fig. 81

Em analogia directa num modelo de papel condutor B C e C D serão delimitadas por tinta condutora e A B e C D não o serão, dando-se o contrário em analogia inversa.

Para estudo deste campo consideraram-se dois modelos, um em analogia directa (fig. 82) e outro em analogia inversa (fig. 83), procedendo-se, por processo análogo ao descrito em 4.2.1, ao traçado de diversas equipotenciais do campo.

O modelo em analogia inversa foi ligado em série com um padrão de papel condutor de forma quadrangular, com eléctrodos em dois lados opostos, intercalando entre o padrão e o modelo uma

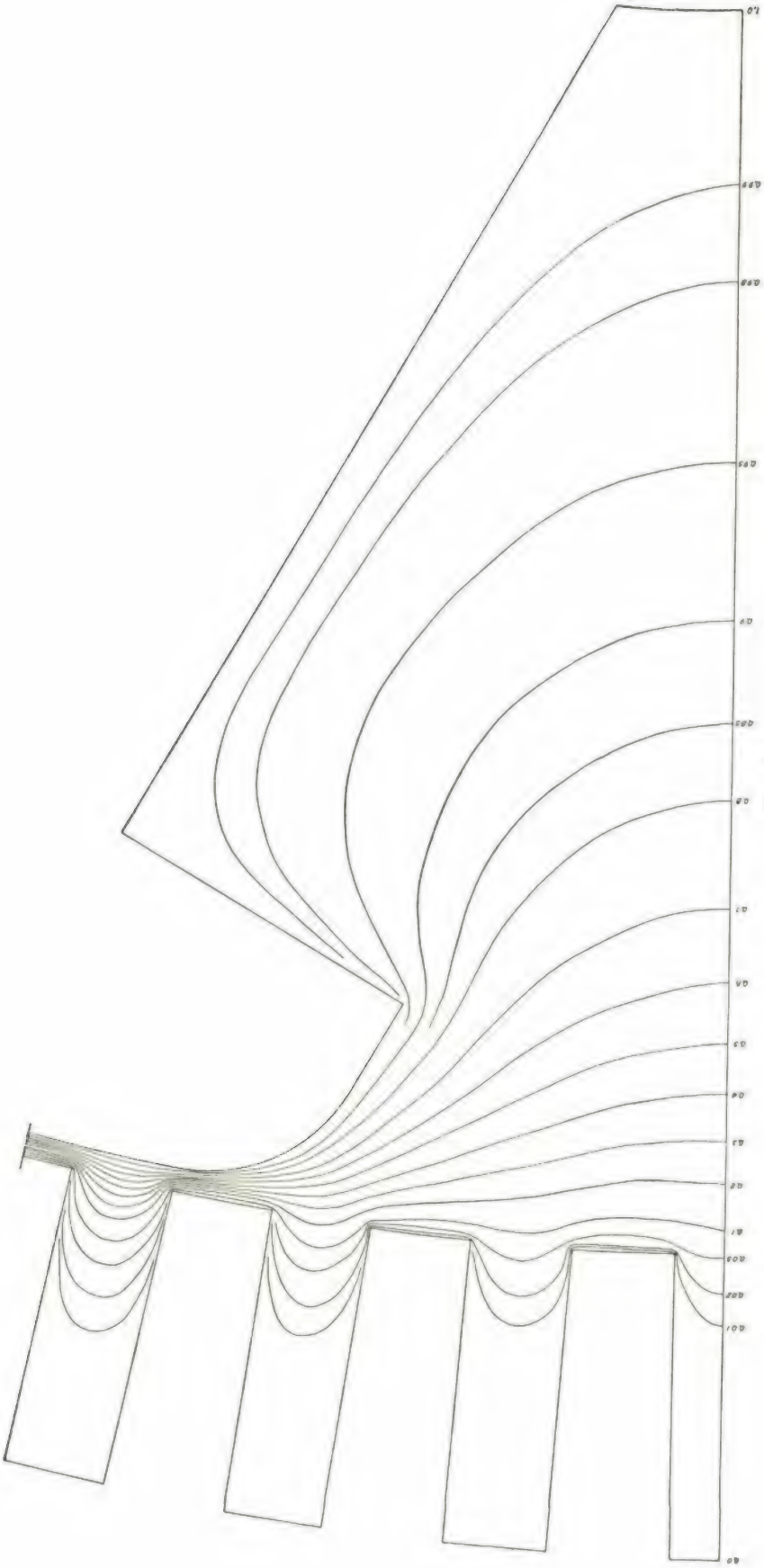


Fig. 82

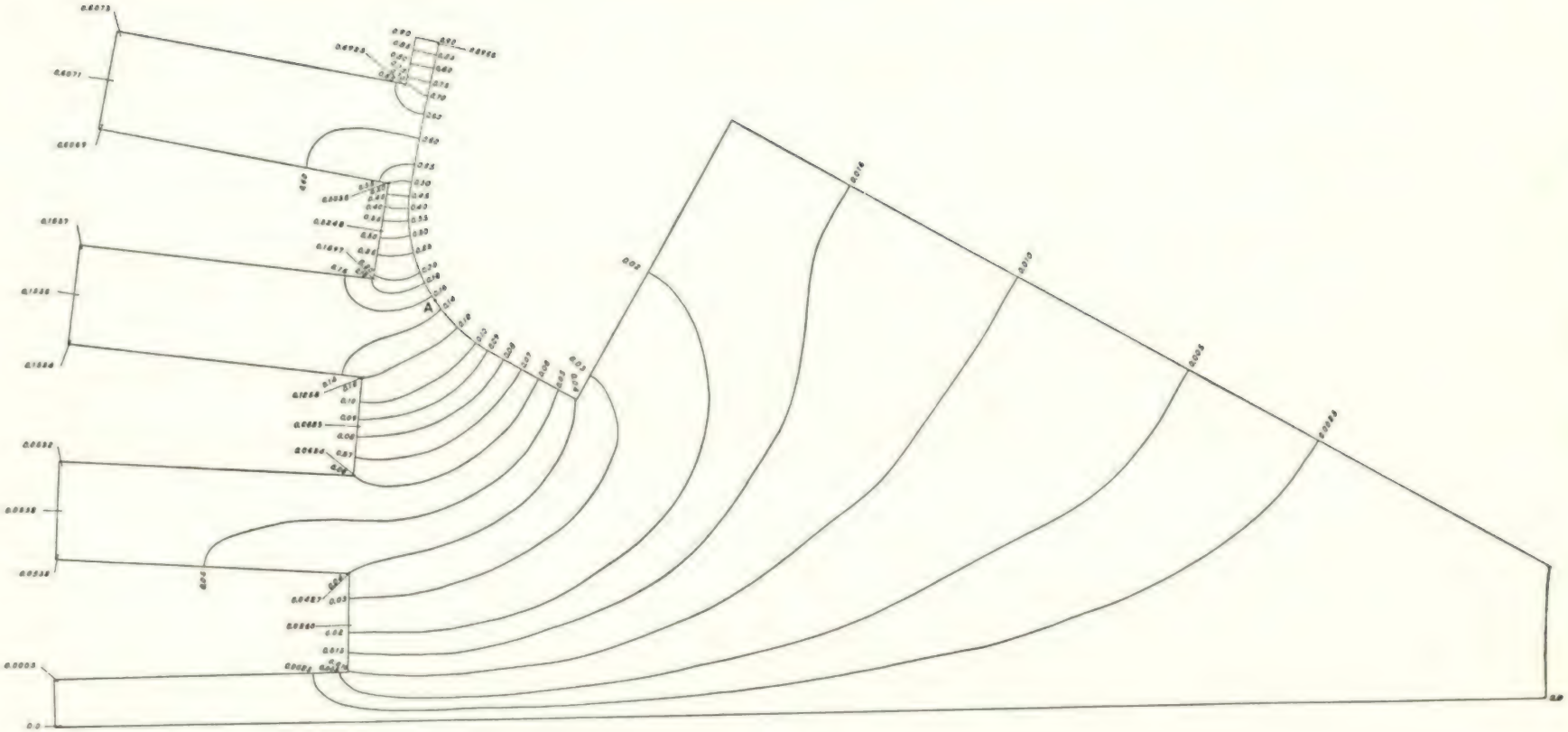


Fig. 83

resistência variável que foi ajustada por forma que a tensão entre os terminais do padrão fosse 0,1000 da tensão aplicada ao conjunto.

Nestas condições, o fluxo de um tubo de força do campo magnético definido por dois quaisquer pontos Q_1 e Q_2 do modelo, será dado por

$$231) \quad \Phi_{Q_1 Q_2} = 2 \pi \, . \, f_{mp} \, . \, l \, . \, [V(Q_2) - V Q_1)] \, ,$$

com notação idêntica à definida no parágrafo anterior e sendo f_{mp} o fluxo do vector densidade de corrente associado a este campo.

Portanto, definindo os dentes pela sua distância D ao eixo entre polos tomando como unidade o passo dos dentes, tem-se:

D	ΔV	$\frac{\Phi_d}{f_{mp} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
0,5	0,053 (2)	0,34
1,5	0,100 (4)	0,63
2,5	0,453 (5)	2,85
3,5 (1) (metade)	0,292 (9)	1,84 (1)
3,5 (total)		1,84 + 2,18 = 4,02

Debaixo dos polos na zona de entreferro uniforme e desprezando a saturação, tem-se

$$232) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mp} \cdot l} = 4{,}36 \text{ maxwell } A^{-1} \, cm^{-1} \, .$$

No gráfico da fig. 84 representa-se a função

$$233) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mp} \cdot l} = f(D) \, ,$$

obtida a partir desta tabela. Consoante a posisão relativa das correntes e dos dentes, será válida a curva (1) ou a curva (2).

Os resultados obtidos no que respeita ao fluxo através das bobinas indutoras, na zona entre polos, são expostos em 4.4.7.

4.4 *Campo na zona entre polos associado às correntes no induzido na zona entre polos*

4.4.1 *Introdução*

Para restringir a zona representada no modelo à zona entre polos, para efeitos da determinação deste campo, é necessária análise prévia, qualitativa, de todo o campo associado a estas correntes.

Seja a máquina considerada para exemplo e seja a corrente na cava 1 (fig. 85).

Desprezando, a saturação em toda a máquina, a superfície do induzido e do indutor serão muito aproximadamente ortogonais ao campo no ar. Tem-se, «grosso modo», um campo com uma configuração do tipo da indicada na fig. 85.

(1) Fluxo através da metade do dente representada no modelo.

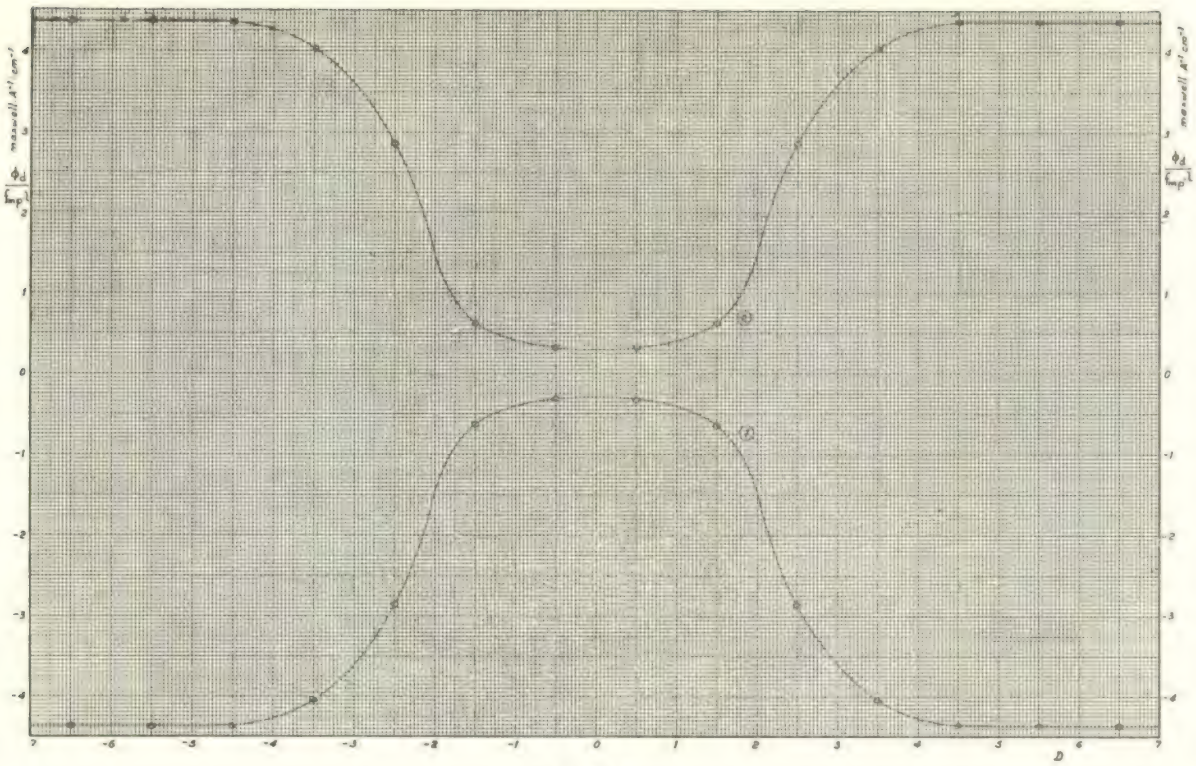


Fig. 84

Em face da configuração qualitativa deste campo é evidente que, sendo X uma letra genérica, as forças magnetomotrizes $\widehat{X' X''}$ e $\widehat{X''' X''''}$ são, muito aproximadamente, iguais.

Tem-se, além disso, que, para efeito da zona entre polos, se pode considerar que o campo no eixo de um dente, situado na zona do entreferro uniforme, é radial.

Nestas condições, o modelo do campo pode restringir-se à zona [A B C D A] (fig. 86).

Em analogia inversa, $\widehat{AB}$ e $\widehat{CD}$ serão ortogonais ao campo, sendo delimitados num modelo de papel condutor por tinta condutora, e $\widehat{BC}$ e $\widehat{DA}$ coincidirão com linhas de força, não sendo delimitadas por tinta condutora.

As correntes na cava serão representadas pela introdução no modelo de correntes, por meio de eléctrodos.

À condição de as forças magnetomotrizes $\widehat{AB}$ e $\widehat{CD}$ serem iguais, corresponde, no modelo, a condição de as correntes nos eléctrodos $\widehat{AB}$ e $\widehat{CD}$ serem iguais.

Utilizaram-se modelos do tipo do indicado na fig. 87, aplicando-se uma tensão entre P_1 e P_2. As correntes na cava foram representadas por meio de três eléctrodos colocados no centro de gravidade das zonas correspondentes, tendo-se suposto uma distribuição uniforme das correntes na cava (supondo não haver correntes numa pequena zona na vizinhança do entreferro).

As resistências R'' foram medidas com precisão, por forma a obterem-se as correntes respectivas efectuando os cocientes das tensões entre os terminais pelos valores das resistências.

As resistências R''' foram ajustadas, por aproximações sucessivas, por forma que:

$$i_1 = i_2 = i_3$$

$$i_4 = i_5 \ .$$

O ajuste foi feito de maneira que as correntes i_1, i_2 e i_3 não diferissem mais de 0,5 % do correspondente valor médio (0,17 % da corrente total) e as correntes i_4 e i_5 não diferissem mais de 0,3 % do correspondente valor médio (0,15 % da corrente total).

Fig. 85

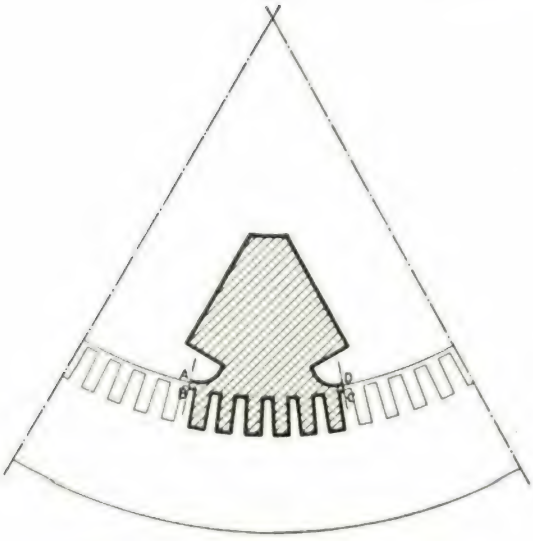


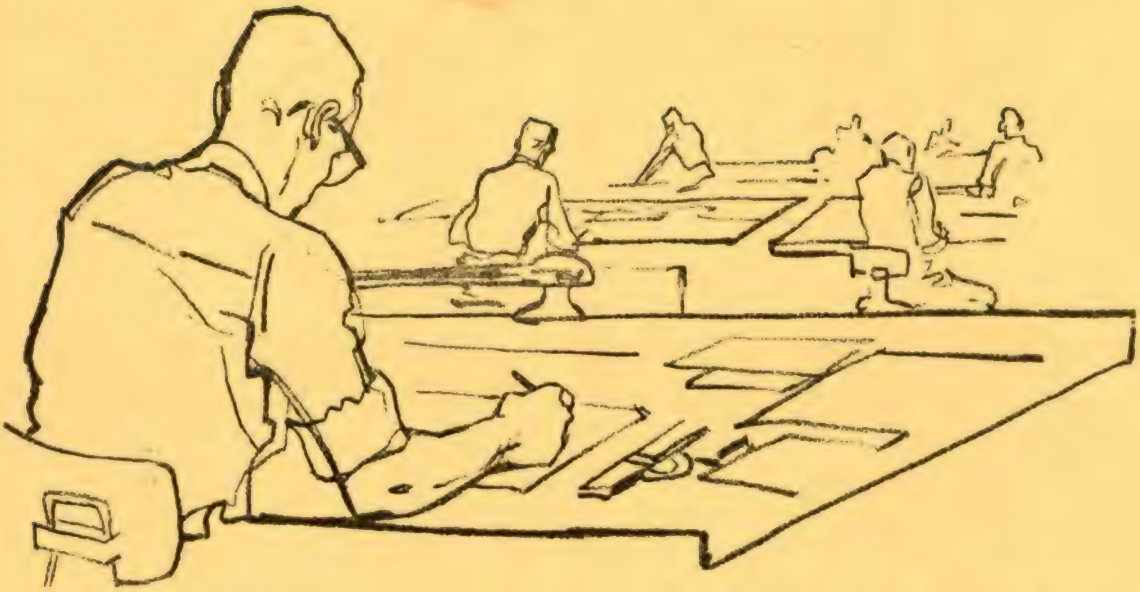
Fig. 86

Em série com o modelo para estudo do campo colocaram-se padrões de papel condutor de forma quadrada. A resistência R′ era ajustada por forma que a tensão entre os terminais dos padrões (P_2 e P_3) fosse 0,1000 da tensão entre P_1 e P_2.

Para a cava situada a meio dos polos (fig. 88), dada a simetria do campo, considerou-se apenas metade do modelo anterior, dispensando-se as resistências R''_4, R''_5, R'''_4 e R'''_5. Utilizou-se um único padrão, ajustando-se R′ por forma que a tensão entre os terminais do padrão fosse 0,0500 da tensão entre P_1 e P_2.

Sendo f_{mc} o fluxo do vector densidade de cor-

APA



CATERPILLAR* + S.T.E.T.

O BINÓMIO MAIS VANTAJOSO PARA QUALQUER PROBLEMA DE

MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS

CATERPILLAR* O fabricante mais especializado, em todo o mundo, de tractores de rasto e de rodas, pás mecânicas de rasto e rodas (traxcavators*), motoniveladoras, moto-scrapers, escarificadores, "bulldozers", motores industriais e marítimos, grupos electrogéneos.

S.T.E.T.

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO EM PORTUGAL CONTINENTAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

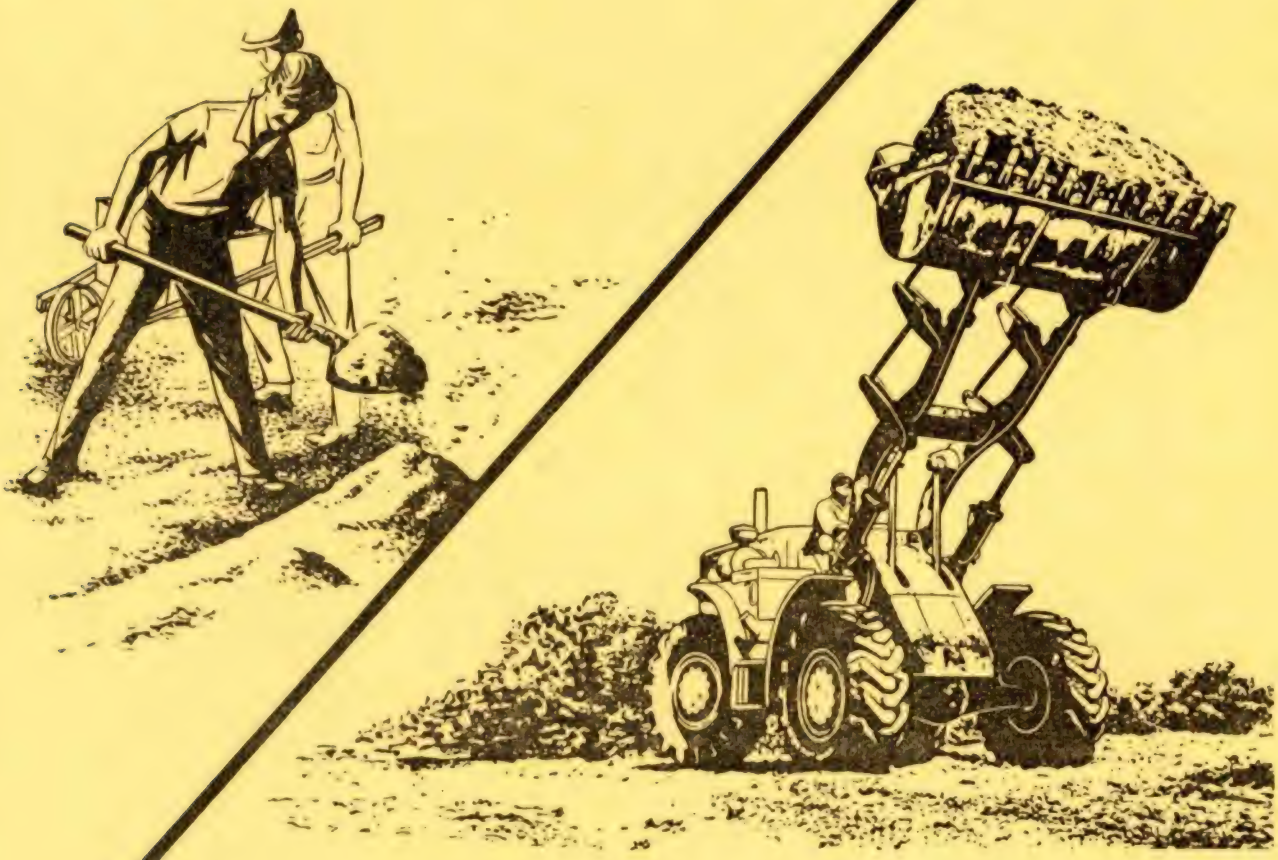
ASSISTÊNCIA — REPARAÇÕES — PEÇAS GENUÍNAS

PRIOR VELHO — SACAVÉM
TELEF.: 251 0001/4 — TELEG.: «STETRA» — APARTADO 1351
LISBOA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A.

DA PÁ
CLÁSSICA
E DO CARRINHO
DE MÃO...

APA



...À
PÁ MECÂNICA
(TRAXCAVATOR*)
CATERPILLAR*

TODO UM CAMINHO PERCORRIDO NA PROCURA DA MELHOR REALIZAÇÃO DO TRABALHO — DA MANEIRA MAIS EFICIENTE, MAIS ECONÓMICA E MAIS LUCRATIVA — PARA UMA MELHOR SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES HUMANAS.

ACTUALMENTE, EM QUALQUER TRABALHO DE

cerâmicas, minas e pedreiras,

A PALAVRA DA ORDEM É

CATERPILLAR*

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO:

S.T.E.T.

SOCIEDADE TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.
PRIOR VELHO — SACAVÉM
TELEF. 251 0001/4 — TELEG. «STETRA» — APARTADO 1351 — LISBOA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A.

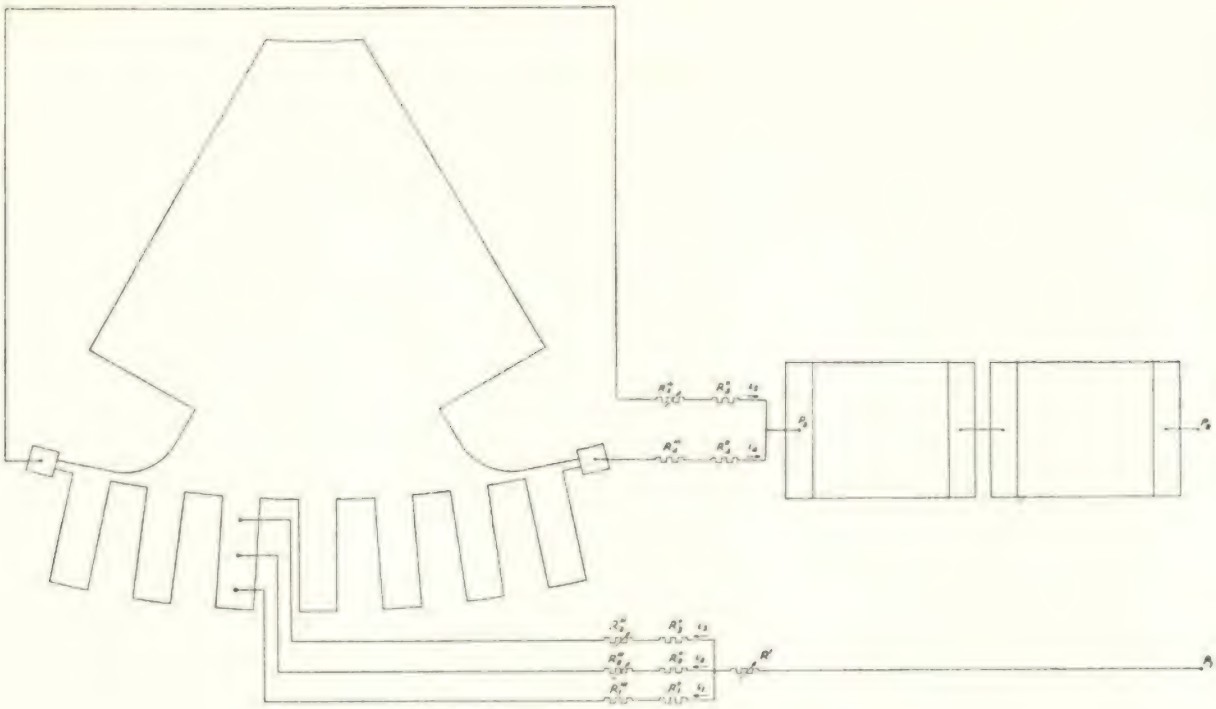


Fig. 87

rente através da secção da cava associada ao campo, ter-se-à, com notação análoga à definida em 4.3 :

$$234) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = \begin{Bmatrix} 8\pi \\ 4\pi \end{Bmatrix} [V(Q_2) - V(Q_1)] .$$

O valor 4π refere-se ao modelo relativo à cava situada a meio dos polos (fig. 88) e o valor 8π aos restantes.

Para definir os campos traçaram-se várias equipotenciais nos modelos de papel condutor. Nas figs. 88, 89 e 90 indicam-se os resultados obtidos.

A partir destes resultados é possível determinar os fluxos associados às correntes em cada cava, para efeito de cálculo de «coeficientes de indução» entre cavas distintas e entre cavas e enrolamento indutor.

Para definição da posição das cavas e dos dentes considera-se a sua distância angular D ao eixo entre polos, tomando como unidade o passo dos dentes, contando-se positivamente no sentido inverso (1), a partir do eixo. Representa-se por D_c o valor de D relativo à cava em que se consideram as correntes e por D_d o valor de D relativo ao dente em que se calcula o fluxo associado a essas correntes.

Têm-se os valores que a seguir se indicam para $\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ referindo-se Φ_d ao fluxo por dente definido entre os eixos das cavas vizinhas no fundo da cava.

4.4.2 *Cava definida por $D_c = 0$ (fig. 88)*

Tem-se, com a notação e unidades indicadas em 4.2 e 4.4.1

$$235) \quad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = 4\pi \cdot [V(Q_2) - V(Q_1)] ,$$

(1) Em relação ao sentido a que se referiam os modelos.

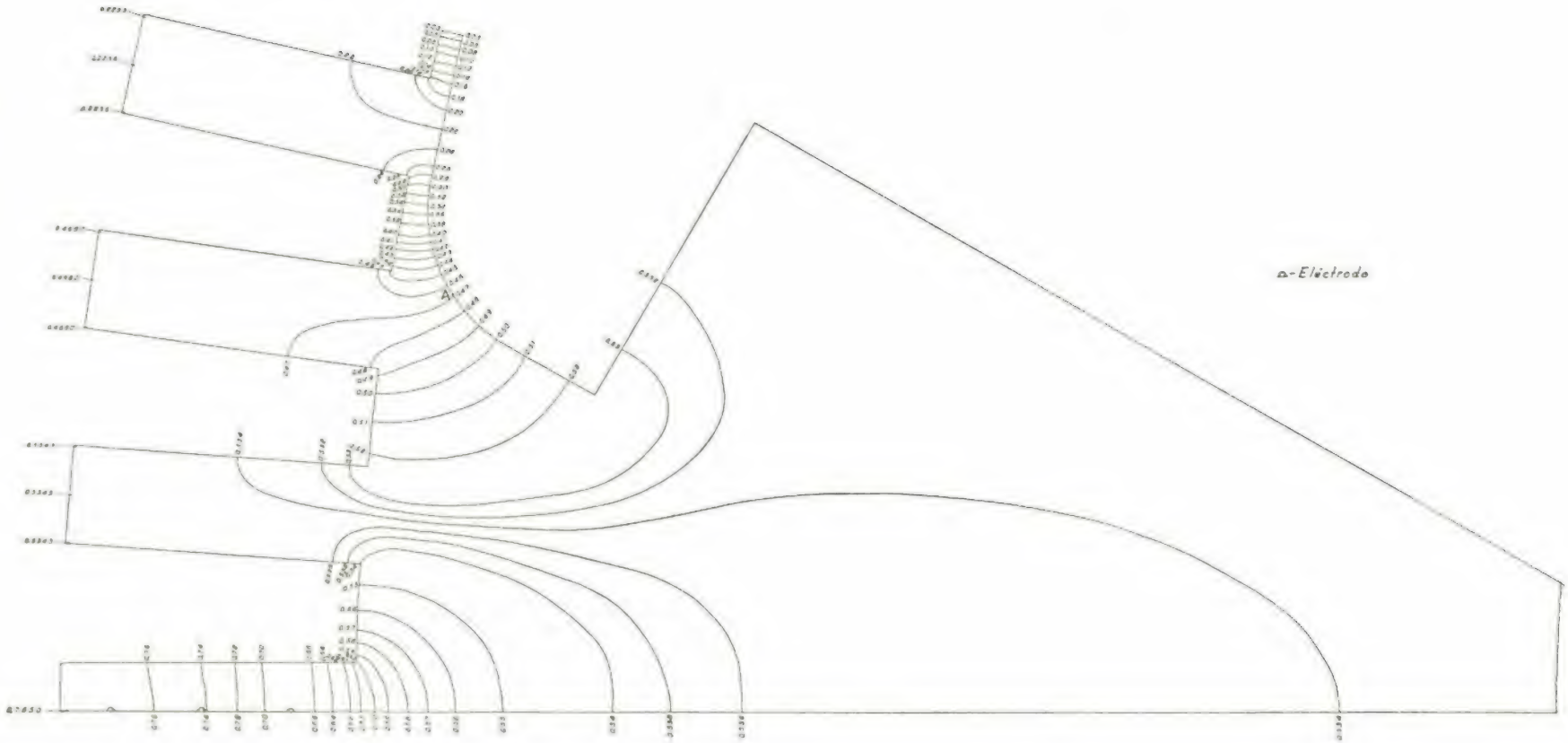


Fig. 88

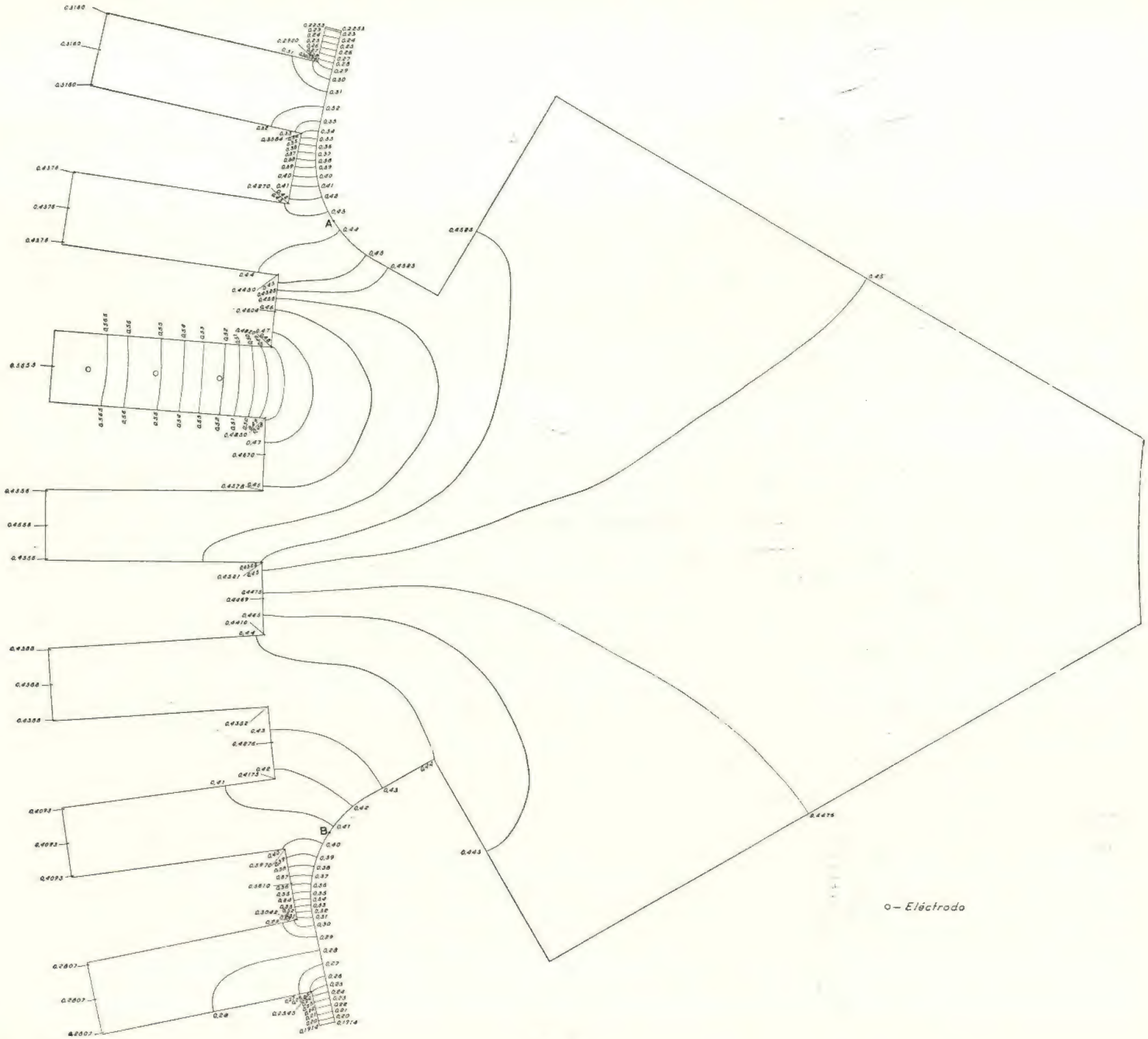


Fig. 89

Fig. 90

donde

D_d	$\lvert V(Q_2) - V(Q_1) \rvert$	$\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
$\pm$ 0,5	0,230 (7)	2,90
$\pm$ 1,5	0,066 (3)	0,83
$\pm$ 2,5	0,244 (4)	3,07
$\pm$ 3,5	0,173 (6) (1)	2,18 (1)
$\pm$ 3,5	—	4,36

No gráfico da fig. 91 representa-se a função

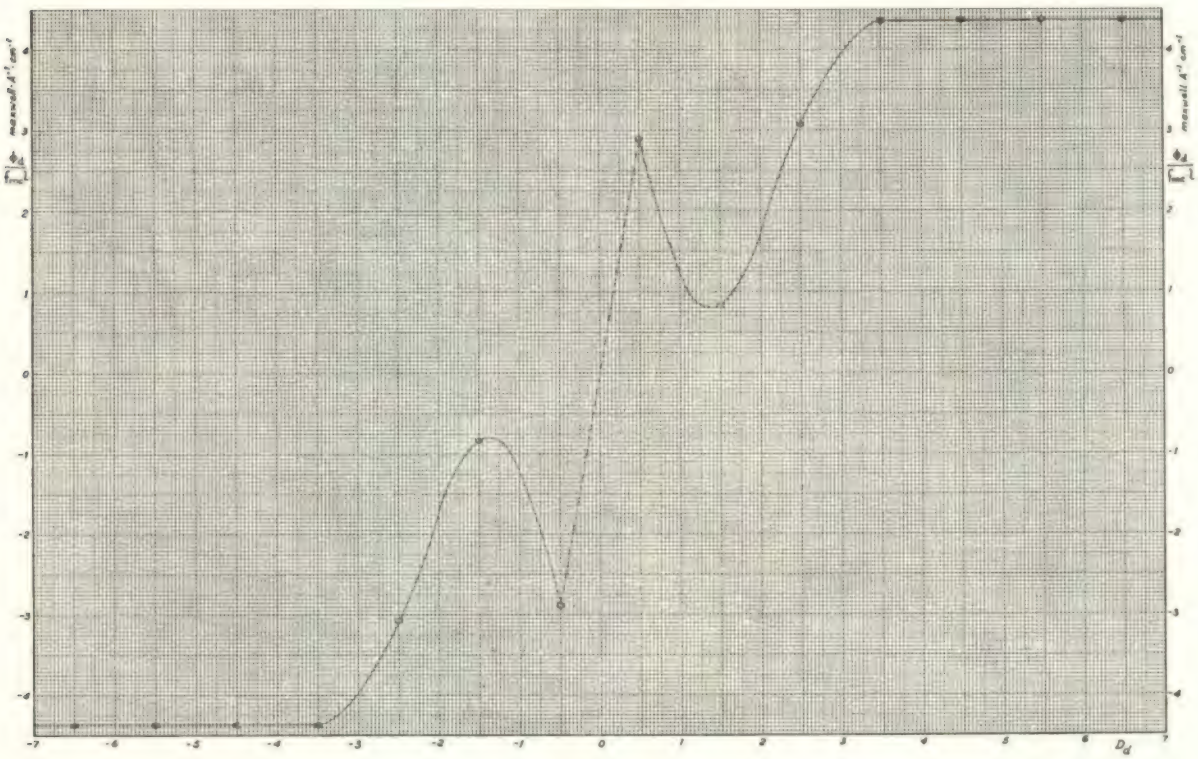


Fig. 91

$$236) \qquad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = f\,(D_d\,,\, D_d = 0)\,,$$

obtida a partir dos valores desta tabela.

4.4.3. *Cava definida por $D_c = 1$ (fig. 89)*

Tem-se, anàlogamente,

$$237) \qquad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = 8\,\pi\,.\,[V\,(Q_2) - V\,(Q_1)]\,,$$

donde

(1) Metade do dente representada no modelo.

Dd	$V(Q_2) - V(Q_1)$	$\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
— 4,5	—	— 4,36
— 3,5	—	— 4,42
— 3,5 (1)	— 0,089 (3) (1)	— 2,24 (1)
— 2,5	— 0,128 (6)	— 3,23
— 1,5	— 0,029 (5)	— 0,74
— 0,5	— 0,016 (8)	— 0,42
0,5	— 0,109 (9)	— 2,76
1,5	0,127 (9)	3,22
2,5	0,121 (6)	3,06
3,5 (1)	0,090 (7) (1)	2,28 (1)
3,5	—	4,46
4,5	—	4,36

No gráfico da fig. 92 representa-se a função

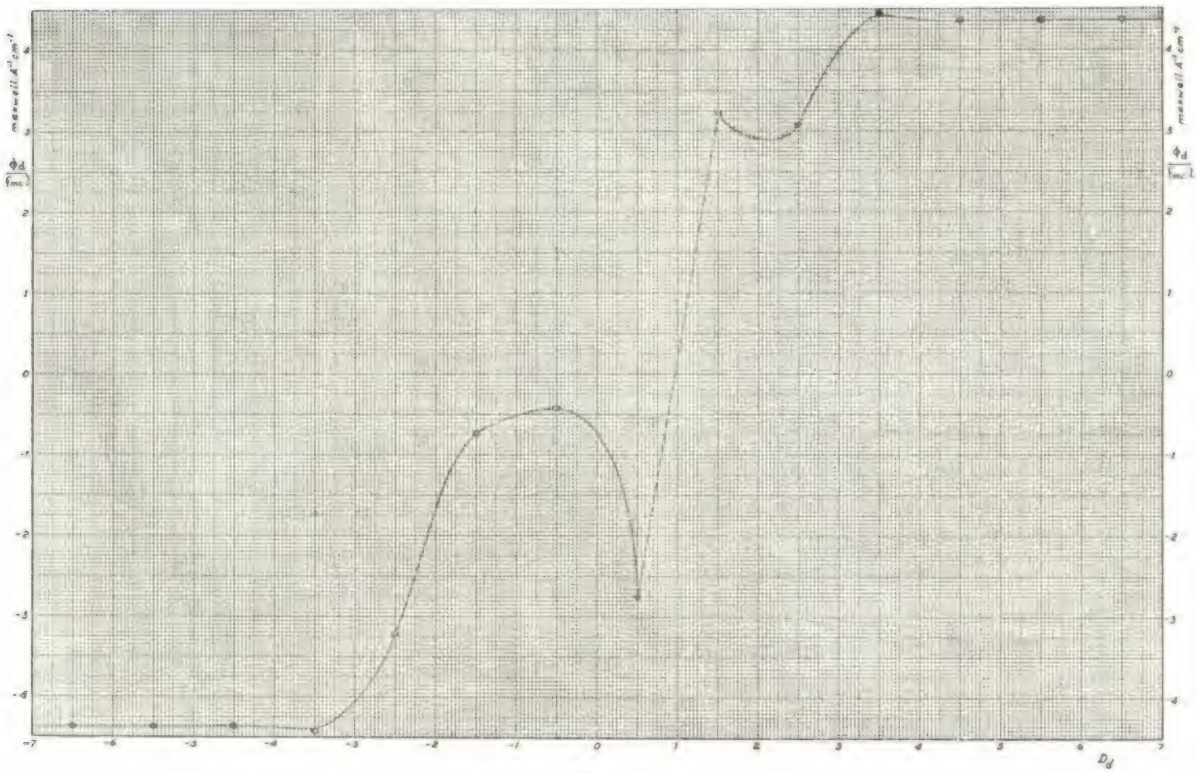


Fig. 92

238) $$\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = f\,(D_d\,,\ D_c = 1),$$

obtida a partir desta tabela.

(1) Metade do dente representada no modelo.

4.4.4. *Cava definida por $D_c = 2$ (fig. 90)*

Tem-se, anàlogamente,

$$239) \qquad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = 8\,\pi\,[V(Q_2) - V(Q_1)] \;,$$

donde:

D_d	$V(Q_2) - V(Q_1)$	$\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ maxwell A^{-1} cm^{-1}
— 4,5	—	— 4,36
— 3,5	—	— 4,26
— 3,5 (1)	— 0,082 (8) (1)	— 2,08 (1)
— 2,5	— 0,114 (6)	— 2,88
— 1,5	— 0,026 (7)	— 0,67
— 0,5	— 0,012 (8)	— 0,32
0,5	— 0,012 (7)	— 0,32
1,5	— 0,103 (8)	— 2,61
2,5	0,181 (2)	4,56
3,5 (1)	0,083 (0) (1)	2,09 (1)
3,5	—	4,27
4,5	—	4,36

No gráfico da fig. 93 representa-se a função

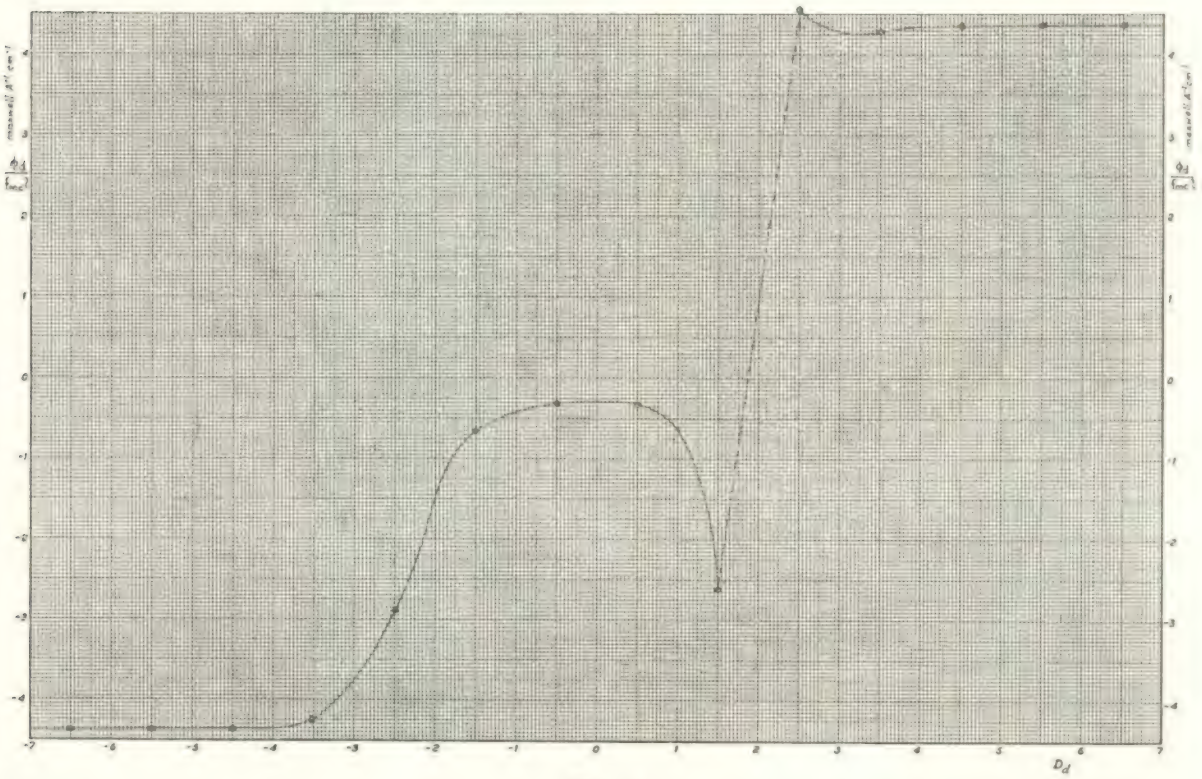


Fig. 93

(1) Metade do dente representada no modelo.

240) $$\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = f\,(D_d\,,\, D_c = 2)\ ,$$

obtida a partir desta tabela.

4.4.5 *Comparação dos resultados obtidos no que respeita ao fluxo através do induzido*

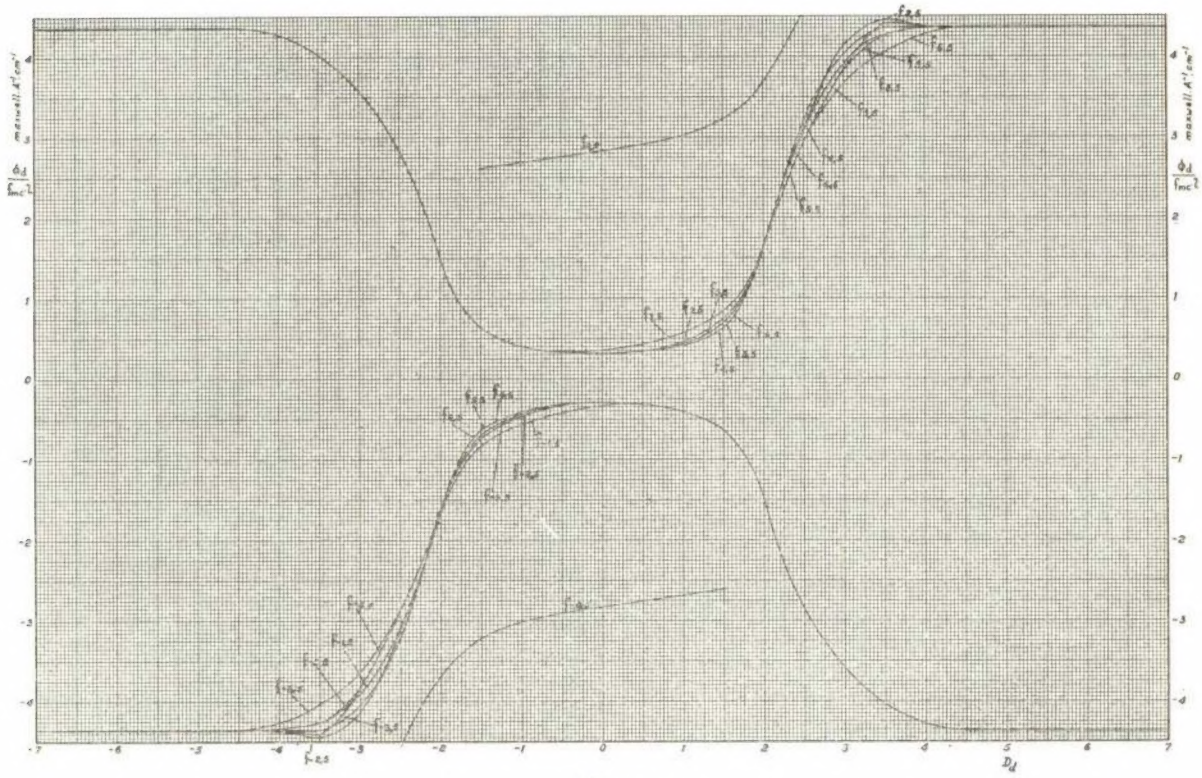


Fig. 94

Da comparação das figs. 91, 92 e 93 entre si e com o gráfico da fig. 94 (1) ressalta que, àparte o sinal e exceptuando os dentes vizinhos das cavas em que se consideram as correntes associadas ao campo, $\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ depende fundamentalmente de D_d, sendo pequena a sua «derivada» em relação a D_c, excepto para valores de D_d e D_c vizinhos ($|D_d - D_c| = 0{,}5$ e $1{,}5$).

Por outro lado, para o cálculo do comportamento global das máquinas, é vantajoso considerar como variável $D_d - D_c$.

Por estas duas razões, resolveu-se exprimir $\frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ em função de D_d e $D_d - D_c$. Atendendo às condições de simetria, obtiveram-se, a partir dos valores anteriores e efectuando algumas extrapolações cuja validade (com bastante aproximação) não ofereceu dúvidas, os valores indicados na tabela seguinte:

(1) Obtido pela forma indicada mais adiante.

D_d \ $D_d - D_c$	— 6,5 — 7,5 . . .	— 5,5	— 4,5	— 3,5	— 2,5	— 1,5	— 0,5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5 7,5 . . .
. . . — 5,5 — 4,5	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36			4,36	4,36	4,36	4,36	4 36	4,36
— 3,5	— 4,02	— 4,26	— 4,42	— 4,36	— 4,46	— 4,27			4,02	4,02	4,02	4,02	4,02	4,02
— 2,5	— 2,85	— 2,85	— 2,88	— 3,23	— 3,07	— 3,06	— 4,56		2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
— 1,5	— 0,63	— 0,63	— 0,63	— 0,67	— 0,74	— 0,83	— 3,22	2,61	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
— 0,5	— 0,34	— 0,34	— 0,34	— 0,34	— 0,32	— 0,42	— 2,90	2,76	0,32	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
0,5	— 0,34	— 0,34	— 0,34	— 0,34	— 0,34	— 0,32	— 2,76	2,90	0,42	0,32	0,34	0,34	0,34	0,34
1,5	— 0,63	— 0,63	— 0,63	— 0,63	— 0,63	— 0,63	— 2,61	3,22	0,83	0,74	0,67	0,63	0,63	0,63
2,5	— 2,85	— 2,85	— 2,85	— 2,85	— 2,85	— 2,85		4,56	3,06	3,07	3,23	2,88	2,85	2,85
3,5	— 4,02	— 4,02	— 4,02	— 4,02	— 4,02	— 4,02			4,27	4,46	4,36	4,42	4,26	4,02
4,5 5,5 . . .	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36	— 4,36			4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36

A partir desta tabela traçaram-se os gráficos da fig. 94, em que se representam as curvas correspondentes a

$$241) \qquad \frac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l} = f\,(D_d\,,\, D_d - D_c)\,,$$

tendo-se tomado $D_d - D_c$ como parâmetro.

Verifica-se que os valores relativos a

$$542) \qquad |\, D_d - D_c \,| = 0{,}5$$

se afastam bastante dos restantes e que, para

$$243) \qquad |\, D_d - D_c \,| = 1{,}5\,;\; 2{,}5\,;\; \ldots$$

os valores diferem relativamente pouco (àparte o sinal) sendo até as diferenças de ordem de grandeza não muito superior aos erros aleatórios do processo experimental.

Nestas condições, pelo menos em primeira aproximação, o fluxo através de um dente na zona entre polos associado às correntes no induzido que não as correntes nas cavas vizinhas, pode ser calculado supondo que, para

$$243) \qquad |\, D_d - D_c \,| = 1{,}5\,;\; 2{,}5\,;\; \ldots\,,$$

$\dfrac{\Phi_d}{f_{mc} \cdot l}$ é independente de $|\, D_d - D_c \,|$, considerando-se para esta função uma função média de D_d, independente de $D_d - D_c$.

Em princípio essa «funcão média» é também válida debaixo dos polos, na hipótese de não haver saturação.

O fluxo num dente associado a correntes em cavas vizinhas ($|\, D_d - D_c \,| = 0{,}5$) deverá ser considerado separadamente, podendo ser estudado, por exemplo, pelo processo que a seguir se descreve.

4.4.6 *Campo na vizinhança imediata das correntes a ele associadas*

Na zona entre polos este campo pode ser estudado sem excessiva complicação por intermédio de uma rede de resistências que represente a cava e vizinhança imediata da zona entre polos, recorrendo, para a delimitação desta vizinhança, a um modelo de papel condutor.

Suponhamos que, por exemplo, se pretende estudar o campo associado às correntes na zona da cava indicada a tracejado na fig. 95.

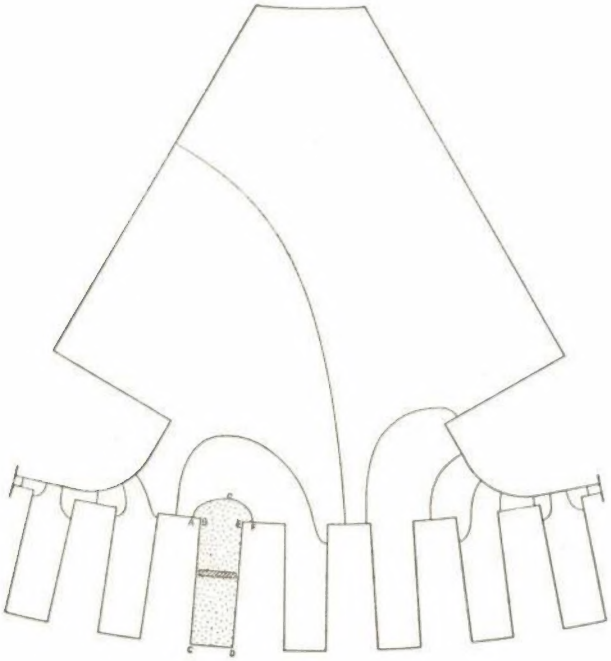


Fig. 95

Por processo semelhante ao descrito em 4.4.1, e representando a corrente na cava por alguns eléctrodos colocados na região respectiva do modelo, tem-se uma representação global do campo relativamente aproximada. Está-se, assim, em condições de definir uma equipotencial do campo eléctrico análogo na proximidade da cava, por exemplo *e* (fig. 95).

Considerando uma rede de resistências representativa do domínio [A B C D E F A], em analogia inversa, e em que seja imposta a condição de *e* ser uma equipotencial, pode-se, por processo análogo ao descrito em 5.3, estudar este campo magnético no referido domínio com maior aproximação.

A delimitação do domínio referido pela equipotencial *e* não oferece qualquer dificuldade. Convém ùnicamente dispor de uma rede de malhas bastante apertadas na vizinhança de *e*.

Dado que dispunhamos de equipamento experimental para obtenção de redes de resistências relativamente escasso, o que tornaria este ensaio bastante moroso, e tendo em conta que, no que respeita ao método, não vimos qualquer dificuldade suplementar em relação a outros estudos efectuados, não fizemos estes ensaios.

Para uma primeira aproximação, poder-se-ão utilizar os resultados obtidos com os modelos, para o campo fora da cava em que se encontram as correntes, admitindo na zona da cava a validade dos resultados obtidos em 5.3.2.

4.4.7 *Fluxo através das bobinas indutoras na zona entre polos, associado a correntes no induzido*

Interessa, por vezes, poder definir o fluxo através das bobinas indutoras na zona entre polos, associado a correntes no induzido. Como é óbvio, esse fluxo é fàcilmente obtido pelo método exposto.

AÇO TOR

O AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA
PARA BETÃO ARMADO COM
MAIOR VENDA NO MUNDO

TENSÃO DE SEGURANÇA 2 400 Kg/cm²
SEM GANCHOS

Especifique
AÇO TOR
com o símbolo

SOABAL – SOCIEDADE DE AÇOS PARA BETÃO ARMADO, LDA.
RUA JOAQUIM BONIFÁCIO, 2, 1.º — TELEF. 4 05 66 — LISBOA